This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06910269 1

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Naturlehre.

Ein Hülfsbuch für Schullehrer

bei dem Unterrichte

reiferer Schüler, insbesondere der Präparanden.

Von

Emil Postel.

Zweite Auflage.

Langensalza,
Schulbuchhandlung von F. G. L. Greßler.
1864.

Digitized by Google

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
400807
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.
1907

Digitized by Google

Vorwort zur ersten Auflage.

Das gegenwärtige Hülfsbuch ist aus einem Hefte entstanden, welches ich vor einer Reihe von Jahren für meine Schüler und zu meinem eigenen Gebrauche ausarbeitete, und durch allmählige Nachträge ergänzte. Vielleicht thue ich durch die Veröffentlichung desselben Manchem eine nicht unwillkommene Handreichung. Da es nicht auf dem Wege der Subscription oder Pränumeration erscheint, sondern von der Verlagshandlung zur Ansicht dargeboten wird, so kann sich ein Jeder, bevor er es kauft, überzeugen, ob Plan und Ausführung seinen Wünschen entspreche, da ich nicht beabsichtige, anderen guten Werken Abbruch zu thun. Das Buch enthält keine von mir auf dem Felde der Naturwissenschaften gemachten neuen Entdeckungen; Alles, was darin zu finden ist, steht in anderen Lehrbüchern der Physik auch. Meine Absicht ist nur, Lehrern an den Oberklassen gehobener Volksschulen und insbesondere den Präparandenbildnern ein Hülfsmittel zur Vorbereitung auf den betreffenden Unterricht, und reiferen Schülern ein Lernbuch für ihren Privatfleiß darzubieten. Bei der Auswahl des für diesen Zweck mir passend erscheinenden Stoffes, dessen Umfang nach Umständen hie und da leicht beschränkt werden kann, habe ich die Lehrbücher von Pouillet-Müller, Brettner, Pfaff, Koppe, Poppe, Fischer, Krüger u. A. benutzt, und bin darauf bedacht gewesen, durch einen möglichst schlichten und klaren Vortrag das Verständniß zu erleichtern. Alles, was eine tiefere wissenschaftliche Vorbildung voraussetzt, mußte natürlich ausgeschlossen werden. Wo es irgend ausführbar schien, bin ich nicht von besonderen, oft umständlichen und Apparate erheischenden Experimenten, sondern von Anschauungen aus dem täglichen Leben ausgegangen, um aus diesen die wichtigsten Natur-

Digitized by Google

gesetze herzuleiten. Die allgemeine Anordnung des Stoffes ist im Wesentlichen dieselbe, die sich in den meisten Lehrbüchern der Physik findet, und die schon vor 30 Jahren mein verehrter Lehrer, Herr Dr. Schneider in Bunzlau, bei dem Unterrichte der Seminaristen festhielt; auch in der ausführlicheren Behandlung der in unseren Tagen immer wichtiger werdenden Mechanik bin ich seinem (und Anderer) Beispiele gefolgt. Einen Abschnitt über Chemie habe ich nicht geben wollen, da diese sich zur selbstständigen Wissenschaft erhoben hat, und einen umfassenderen Unterricht erheischt, wozu es an Hülfsmitteln nicht fehlt. Daß ich der electromagnetischen Telegraphie einen verhältnißmäßig bedeutenden Raum gewährt habe, wird bei dem allgemeinen Interesse für dieselbe keiner Rechtfertigung bedürfen.

Möge denn das vorliegende Buch gleich seinen Vorgängern sich Gönner erwerben, und sich gleich diesen einer milden Kritik erfreuen. Der freundliche Dank dieses oder jenes Amtsbruders, dessen Wünschen und Bedürfnissen dasselbe entspricht, wird mir der liebste Lohn sein.

Parchwitz, im November 1862.

Emil Postel.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Der Druck einer zweiten Auflage ist so unerwartet schnell erforderlich, daß mir zu wesentlichen Veränderungen, falls dergleichen nothwendig sein sollten, keine Zeit bleibt. Außer einem die Meidinger'sche galvanische Batterie betreffenden Zusatze ist daher die neue Auflage ein unveränderter Abdruck der ersten.

Parchwitz, im October 1863.

Emil Postel.

Digitized by Google

Uebersicht des Inhalts.

Erste Abtheilung.

Die Lehre von dem Gleichgewichte und von der Bewegung der Körper.

Einleitung.

§ 1. Was ist ein Körper?

§ 2. Die drei Zusammenhangsformen der Körper.

Erster Abschnitt. Vom Gleichgewichte und von der Bewegung fester Körper

§ 3. Die Schwerkraft.

§ 4. Die senkrechte Fallrichtung.

§ 5. Die wagrechte Richtung. Die Grund- oder Setzwage.

§ 6. Das Gewicht der Körper.

§ 7. Der Schwerpunkt.

§ 8. Ruhe und Bewegung der Körper.

§ 9. Das Beharrungsgesetz.

§ 10. Die Ursachen der Bewegung.

§ 11. Die Größe der Bewegung.

§ 12. Die Richtung der Bewegung. Zusammengesetzte Bewegung.

§ 13. Die Hindernisse der Bewegung.

§ 14. Die Gesetze für den freien Fall der Körper.

§ 15. Die Bewegung senkrecht geworfener Körper.

§ 16. Die Bewegung wagrecht oder schräg geworfener Körper.

Digitized by Google

§ 17. Die durch zwei gleichzeitig wirkende Kräfte hervorgerufene Kreisbewegung der Körper.
§ 18. Die Pendelschwingungen.
§ 19. Die Bewegungen der Körper mittelst des Stoßes.
§ 20. Die gemeine Krämerwage.
§ 21. Der zweiarmige Hebel.
§ 22. Der mechanische Vor- und Nachtheil bei dem Gebrauche des Hebels.
§ 23. Der einarmige Hebel.
§ 24. Die Brückenwage.
§ 25. Die Ziehwage.
§ 26. Die feste Rolle.
§ 27. Die bewegliche Rolle.
§ 28. Der Potenz-Flaschenzug.
§ 29. Der gemeine Flaschenzug.
§ 30. Das Rad an der Welle.
§ 31. Rückblick auf § 20—30.
§ 32. Die schiefe Ebene.
§ 33. Der Keil.
§ 34. Die Schraube.
§ 35. Rück- und Vorblick.
§ 36. Die Schnur ohne Ende.
§ 37. Die gezahnten Räder.
§ 38. Die gezahnte Stange. Die Schraube ohne Ende.
§ 39. Die Kurbel und die Leitstange. Stangenkünste. Wellenarme.
§ 40. Die Daumenwelle.
§ 41. Die excentrische Scheibe.
§ 42. Das Schwungrad.
§ 43. Die Schwungkugeln.
§ 44. Das Pendel als Regulator der großen Thurm- und Wanduhren.
§ 45. Die Schnecke und die Unruhe, als Regulatoren der Taschenuhren.
§ 46. Rückblick.
§ 47. Fragen und Aufgaben zur Wiederholung.

Digitized by Google

Zweiter Abschnitt. **Vom Gleichgewichte und von der Bewegung tropfbarflüssiger Körper.**

§ 48. Die Eigenschaften der tropfbarflüssigen Körper.
§ 49. Die Wellenbewegung des Wassers.
§ 50. Der allseitige Druck des Wassers.
§ 51. Der Druck des Wassers auf den Boden eines Gefäßes.
§ 52. Communicirende Röhren.
§ 53. Erscheinungen und Vorrichtungen, welche auf dem Gesetze über communicirende Röhren beruhen.
1. Das Steigen und Fallen des Wassers in Brunnen und Kellern.
2. Wasserleitungen.
3. Standmesser.
4. Wasserwagen.
§ 54. Der Seitendruck des Wassers.
§ 55. Der Druck des Wassers nach oben.
1. Der (hydrostatische) Springbrunnen.
2. Die artesischen Brunnen.
3. Wolf's anatomischer Heber.
4. Bramah's hydraulische Presse.
§ 56. Das Schwimmen.
§ 57. Das specifische Gewicht.
§ 58. Die Anhangskraft oder Adhäsion.
§ 59. Die Haarröhrchenziehung (Capillar-Attraction).
§ 60. Fragen und Aufgaben zur Wiederholung.

Dritter Abschnitt. **Vom Gleichgewichte und von der Bewegung luftförmiger Körper.**

§ 61. Die Eigenschaften der luftförmigen Körper.
§ 62. Einige Erscheinungen, welche sich auf die Eigenschaften der Luft gründen.
§ 63. Wichtige Werkzeuge, welche sich auf die Eigenschaften der Luft gründen.
§ 64. Der Blasebalg.

Digitized by Google

§ 65. Die Taucherglocke.
§ 66. Der Stechheber.
§ 67. Der Saugheber.
§ 68. Die Wasserpumpe.
§ 69. Das Barometer.
§ 70. Die Compressionspumpe und die Windbüchse.
§ 71. Die Feuerspritze.
§ 72. Die Schiebelampe.
§ 73. Die Luftpumpe.
§ 74. Die atmosphärische Eisenbahn und der atmosphärische Telegraph.
§ 75. Das Fliegen und der Luftballon.
§ 76. Fragen und Aufgaben zur Wiederholung.

Zweite Abtheilung.

Der Schall, das Licht und die Wärme.

Erster Abschnitt. Der Schall.
§ 77. Die Entstehung des Schalles und die verschiedenen Arten desselben.
§ 78. Die Fortpflanzung des Schalles.
§ 79. Die Stärke des Schalles.
§ 80. Die Geschwindigkeit des Schalles.
§ 81. Die Zurückwerfung des Schalles. Das Echo.
§ 82. Das Verbindungsrohr, das Sprachrohr, das Hörrohr, die Sprachgewölbe.
§ 83. Tönende Saiten und Saiteninstrumente.
§ 84. Tönende Flächen. Klangfiguren.
§ 85. Die Schwingungen der Luft. Die Blaseinstrumente.
§ 86. Die Stimmwerkzeuge des Menschen.
§ 87. Fragen und Aufgaben zur Wiederholung.

Zweiter Abschnitt. Das Licht.
§ 88. Leuchtende und dunkle Körper.

Digitized by Google

I. Die geradlinige Verbreitung des Lichtes. (Optik im engeren Sinne.)

§ 89. Die geradlinige Bahn des Lichtes.

§ 90. Der Schatten.

§ 91. Die Stärke des Lichtes.

§ 92. Die Geschwindigkeit des Lichtes.

II. Die Zurückwerfung (Reflexion) des Lichtes oder die Lehre von den Spiegeln (Katoptrik).

§ 93. Das Verhalten der Körper in Beziehung auf die Zurückwerfung des Lichtes.

§ 94. Die verschiedenen Arten von Spiegeln.

A. Der Planspiegel.

§ 95. Das Bild in einem Planspiegel.

§ 96. Verbundene Planspiegel.

§ 97. Einige auf dem Planspiegel beruhende Instrumente.

1. Das Kaleidoscop oder der Schöngucker.
2. Der Operngucker oder das Polemoscop.
3. Das Zauberperspectiv.

B. Der Hohlspiegel.

§ 98. Die Beschaffenheit eines Hohlspiegels.

§ 99. Der Brennpunkt (Fokus) des Hohlspiegels.

§ 100. Der Hohlspiegel als Brennspiegel.

§ 101. Der Hohlspiegel als Erleuchtungsspiegel.

§ 102. Die mittelst des Hohlspiegels entstehenden Bilder überhaupt.

§ 103. Erklärung der mittelst des Hohlspiegels entstehenden Bilder.

§ 104. C. Der erhabene (Convex-) Spiegel.

III. Die Brechung (Refraction) des Lichtes oder die Dioptrik.

§ 105. Die Erscheinungen und Gesetze der Brechung.

§ 106. Die astronomische Strahlenbrechung.

§ 107. Die Spiegelung (vollständige oder totale Zurückwerfung) in Folge der Brechung.

§ 108. Die Brechung der Lichtstrahlen durch ebene Glasscheiben.

§ 109. Die Brechung der Lichtstrahlen durch ein dreiseitiges Glasprisma.

Digitized by Google

§ 110. Gekrümmte Gläser oder Linsen.
§ 111. Die Brechung der Lichtstrahlen durch erhabene Linsen.
§ 112. Die Brechung der Lichtstrahlen durch Hohlgläser.
IV. Das menschliche Auge und die wichtigsten optischen Instrumente.
§ 113. A. Das Auge und das Sehen.
B. Die wichtigsten optischen Instrumente.
§ 114. Die Brillen.
§ 115. Mikroscope oder Vergrößerungsgläser.
§ 116. Teleskope oder Fernröhre.
a) Refractoren.
1. Das galileische oder holländische Fernrohr.
2. Das Kepler'sche oder astronomische Fernrohr (Sternrohr).
3. Das Erdfernrohr.
b) Reflectoren oder Spiegeltelescope.
§ 117. Noch einige andere optische Instrumente.
1. Der Guckkasten.
2. Die camera obscura.
3. Die camera lucida.
4. Die laterna magica.
5. Das Stereoscop.
V. Die Farben.
§ 118. Das Sonnenspectrum.
§ 119. Die Farbenränder der durch das Prisma betrachteten Gegenstände.
§ 120. Der Regenbogen.
§ 121. Andere Licht- und Farbenerscheinungen (Photometeore) in der Atmosphäre.
1. Die Tageshelle.
2. Die Bläue des Himmels.
3. Das Morgen- und Abendroth.
4. Die Höfe um Sonne und Mond; Nebensonnen und Nebenmonde.
§ 122. Die bleibenden Farben.

Digitized by Google

§ 123. VI. Die Natur des Lichtes. Interferenz und Beugung. Chemische Wirkungen des Lichtes.
§ 124. Fragen und Aufgaben zur Wiederholung.

Dritter Abschnitt. Die Wärme.
§ 125. Die Wahrnehmung der Wärme durch das Gefühl.
I. Die Erregungsmittel der Wärme.
§ 126. Wärme wird erzeugt durch die Sonnenstrahlen.
§ 127. Wärme wird erzeugt durch Reibung und Zusammenpressung.
§ 128. Wärme wird erzeugt durch viele chemische Prozesse.
§ 129. Die eigenthümliche Wärme der Erde.
II. Der Einfluß der Wärme auf die Körper.
§ 130. Wärme dehnt alle festen Körper aus.
§ 131. Wärme dehnt alle tropfbar-flüssigen Körper aus.
§ 132. Wärme dehnt alle luftförmigen Körper aus.
III. Instrumente, Maschinen und Naturerscheinungen, bei denen die Wärme thätig ist.
§ 133. Das Thermometer.
§ 134. Das Pyrometer.
§ 135. Die Strömungen der Luft.
§ 136. Der Wind.
§ 137. Regelmäßige und veränderliche Winde.
1. Der Land- und Seewind.
2. Die Passatwinde und die veränderlichen Winde.
3. Die Moussons.
§ 138. Das Sieden des Wassers.
§ 139. Wasser verdampft auf stark erhitzten Metallplatten nicht.
§ 140. Die Verdunstung.
§ 141. Die Abkühlung durch Verdunstung.
Die wässerigen Lufterscheinungen oder Wassermeteore.
§ 142. a) Der Wasserdunst in der Atmosphäre.
§ 143. b) Thau und Reif.
§ 144. c) Nebel und Wolken.
§ 145. d) Der Regen.
§ 146. e) Der Schnee.

Digitized by Google

§ 147. f) Graupen und Hagel.
§ 148. Der Wasserdampf im Dienste des Menschen.
§ 149. Die Haupttheile einer stehenden Dampfmaschine.
§ 150. Andere Theile einer stehenden (Watt'schen) Dampfmaschine.
§ 151. Niederdruck- und Hochdruckmaschinen.
§ 152. Die Locomotive.
§ 153. Die Leistungen der Dampfmaschinen in Pferdekräften ausgedrückt.
§ 154. Die Dampfschiffe.
§ 155. Ericsson's calorische Maschine.
IV. Die Verbreitung der Wärme.
§ 156. 1. Die Verbreitung der Wärme durch Leitung.
§ 157. 2. Die Verbreitung der Wärme durch Strömung.
§ 158. 3. Die Verbreitung der Wärme durch Strahlung.
§ 159. Die Temperatur der Mischungen. Specifische Wärme und Wärmecapacität.
§ 160. V. Die Natur der Wärme.
§ 161. Fragen und Aufgaben zur Wiederholung.

Dritte Abtheilung.

Der Magnetismus und die Electricität.

Erster Abschnitt. Der Magnetismus.
§ 162. Vorbemerkung.
§ 163. Der Magnet zieht Eisen an und wird vom Eisen angezogen.
§ 164. Die Polarität des Magneten.
§ 165. Der Kompaß. Declination und Inclination.
§ 166. Die Erregung des Magnetismus in Eisen und Stahl.
§ 167. Natürliche Magnete. Stärkung und Schwächung der magnetischen Kraft.
§ 168. Das Wesen des Magnetismus.
§ 169. Fragen und Aufgaben zur Wiederholung.

Digitized by Google

Zweiter Abschnitt. **Die Electricität.**

I. Die Reibungs-Electricität.

§ 170. Die electrischen Haupterscheinungen.
§ 171. Leiter und Nichtleiter der Electricität.
§ 172. Positive und negative Electricität.
§ 173. Die Vertheilung der Electricität.
§ 174. Der auf dem Gesetze der Vertheilung beruhende Electrophor.
§ 175. Die verstärkte Electricität.
§ 176. Die Electrisirmaschine.
§ 177. Electrische Lufterscheinungen (Meteore).
§ 178. Das Nordlicht.

II. Die Berührungs-Electricität oder der Galvanismus.

§ 179. Erscheinungen des Galvanismus.
§ 180. Die galvanische Kette und die Volta'sche Säule.
§ 181. Die beständigen (constanten) Ketten.
1. Die Daniell'sche oder Zink-Kupfer-Kette.
2. Bunsen's Zink-Kohlen-Kette.
3. Morse's (Grove's) Zink-Platina-Kette.
§ 182. Einwirkung des galvanischen Stromes auf den menschlichen Körper.
§ 183. Galvanische Licht- und Wärme-Erscheinungen.
§ 184. Chemische Wirkungen des galvanischen Stromes.
a) Zersetzung des Wassers.
b) Andere Zersetzungen.
c) Galvanoplastik.
§ 185. Magnetische Wirkungen des galvanischen Stromes.
1. Einwirkung des Stromes auf die Magnetnadel.
2. Einwirkung des Stromes auf unmagnetisches Eisen.
§ 186. Stromunterbrecher (Disjunctoren).
§ 187. Stromwechsler oder Stromwender (Commutatoren, Gyrotropen).
§ 188. Die electromagnetische Telegraphie.
§ 189. Der Nadel-Telegraph.
§ 190. Der Zeiger-Telegraph.

Digitized by Google

§ 191. Der Druck-Telegraph.
§ 192. Electromagnetische Uhren.
§ 193. Durch den Electromagnetismus erzeugte Kreisbewegungen.
§ 194. Erzeugung galvanischer Ströme durch Induction.
§ 195. Die Magnetelectricität, oder electrische Ströme, welche durch Magnete erzeugt werden.
§ 196. Electrische Fische.
§ 197. Fragen und Aufgaben zur Wiederholung.

Digitized by Google

Erste Abtheilung.

Die Lehre vom Gleichgewichte und von der Bewegung der Körper.

Digitized by Google

Digitized by Google

Einleitung.

§ 1. Was ist ein Körper?

Ein Brett kann man nach drei verschiedenen Richtungen hin messen; indem man seine Länge, seine Breite und seine Dicke untersucht. Dasselbe gilt von einem Steine, einem Stück Zucker, einem Blatt Papier.

An einer aufrecht stehenden Säule, einem Thurme u. dgl. sind Länge, Breite und Höhe meßbar.

Bei einer Mauer nehmen wir Länge, Dicke und Höhe wahr.

Das in einem Flußbette oder in einem Gefäße enthaltene Wasser zeigt uns Länge, Breite und Tiefe.

Der Tischler spricht von Höhe, Breite und Tiefe eines Schranks oder eines Kastens.

Alles, was nach drei Richtungen hin ausgedehnt ist, heißt ein Körper.

Steine, Baumstämme, Kegelkugeln, Baumblätter, Früchte, das Wasser, das Bier, der Wein, die Luft sind demnach Körper.

§ 2. Die drei Zusammenhangsformen der Körper.

Betrachte einen Apfel! Er hat eine bestimmte Gestalt, welche er unverändert beibehält, wenn man ihn auch in noch so verschieden geformte Gefäße legt. Seine Theile hängen innig zusammen, so daß eine gewisse Gewalt erforderlich ist, um sie von einander zu trennen. Wir können dies z. B. durch Schneiden oder Beißen bewirken.

Digitized by Google

Aehnliche Erscheinungen nehmen wir an sehr vielen Körpern wahr. Ein Stück Holz, ein Blatt Papier, eine Stange Siegellack, ein irdener Topf, eine Kartoffel, ein eiserner Schlüssel — alle diese Körper haben eine bestimmte Gestalt, welche unabhängig ist von dem Raume, in welchem sie sich befinden; ihre Theile aber lassen sich nur mit größerer oder geringerer Gewalt von einander trennen. Wir wenden verschiedene Mittel an, um diese Trennung zu bewirken; wir zersägen oder zerhacken das Holz, wir zerreißen oder zerschneiden das Papier, wir zerbrechen das Siegellack, wir zerschlagen den Topf, wir zerstampfen die Kartoffeln, wir feilen das Eisen u. s. w.

Körper, welche eine bestimmte Gestalt haben, und deren Theile sich nur gewaltsam trennen lassen, heißen feste oder starre Körper.

Ein anderes Verhalten zeigt das Wasser. Dieses hat keine bestimmte Gestalt, sondern es nimmt stets die Form des Raumes an, in welchen es eingeschlossen ist. In einem gewöhnlichen Trinkglase z. B. bildet es eine runde Säule, in einer Wanne richtet sich seine Gestalt nach den Wänden derselben, in einer hohlen Glaskugel nimmt es die Form eines Kugelabschnitts oder einer vollständigen Kugel an.

Die einzelnen Theile des Wassers haben einen geringen Zusammenhang, und lassen sich daher leicht verschieben und von einander trennen. Stecken wir z. B. die Hand in das Wasser, so weicht es sogleich zu beiden Seiten aus, und das bloße Neigen eines Gefäßes reicht hin, um einen Theil des in ihm enthaltenen Wassers von der übrigen Masse zu trennen.

Endlich nehmen wir wahr, daß das Wasser in kleinen Mengen kugelförmige Tropfen bildet. Der Regen fällt in Tropfen aus der Wolke herab, die Thränen rinnen als Tropfen von den Wangen, Thautropfen hängen an den Spitzen der Saaten, auf einer glühenden Platte oder auf einem geölten Blatte Papier rollt das Wasser in Kugelform umher.

Dieselben Erscheinungen zeigt das Bier, der Wein, die Milch, der Weingeist, der Syrup, das Quecksilber, das geschmolzene

Digitized by Google

Blei und Eisen u. s. w. Alle diese Körper haben keine bestimmte Form, sondern sie nehmen immer die Gestalt des Raumes an, in welchen sie eingeschlossen sind; ihre Theile haben einen geringen Zusammenhang, und können daher ohne besondere Gewalt verschoben und von einander getrennt werden; in kleinen Mengen bilden die genannten Körper kugelförmige Tropfen.

Körper, welche keine bestimmte Gestalt haben, sondern die Form des sie umschließenden Raumes annehmen, und deren Theile sich leicht verschieben und trennen lassen, die endlich die Eigenthümlichkeit haben, daß sie in kleinen Mengen Tropfen bilden, heißen tropfbarflüssige Körper.

Führen wir mit einem biegsamen Stäbchen einen raschen Hieb, so vernehmen wir einen eigenthümlichen pfeifenden Schall, durch welchen ein unsichtbarer Körper, den wir durchschnitten haben, sein Dasein verräth. Es ist die atmosphärische Luft, welche unsern Erdball umgiebt, und jeden Raum, der ihr zugänglich ist, sofort erfüllt.

Auch sie hat keine bestimmte Gestalt, sondern sie nimmt, gleich den tropfbar-flüssigen Körpern, allezeit die Form des sie umschließenden Raumes an.

Daß ihre Theile noch weit leichter verschieb- und trennbar sind, ergiebt sich schon aus dem geringfügigen, fast unmerklichen Widerstande, den sie uns entgegen setzt, wenn wir uns in ihr bewegen. Es ist bekanntermaßen weit schwerer, im Wasser zu gehen, als in der Luft.

Tropfbar ist die Luft nicht. Aber eine besondere Eigenthümlichkeit besitzt sie, welche wir daraus erkennen, daß sie jeden ihr offen werdenden Raum sofort erfüllt, möge sich nun derselbe über, unter oder neben ihr befinden. Sie hat nämlich das Bestreben, sich in einen immer größeren Raum auszudehnen.

Körper, deren Theile sich noch weit leichter verschieben und trennen lassen, als dies bei den tropfbarflüssigen der Fall ist, und die zugleich das Bestreben haben, sich

Digitized by Google

Aehnliche Erscheinungen nehmen wir an sehr vielen Körpern wahr. Ein Stück Holz, ein Blatt Papier, eine Stange Siegellack, ein irdener Topf, eine Kartoffel, ein eiserner Schlüssel — alle diese Körper haben eine bestimmte Gestalt, welche unabhängig ist von dem Raume, in welchem sie sich befinden; ihre Theile aber lassen sich nur mit größerer oder geringerer Gewalt von einander trennen. Wir wenden verschiedene Mittel an, um diese Trennung zu bewirken; wir zersägen oder zerhacken das Holz, wir zerreißen oder zerschneiden das Papier, wir zerbrechen das Siegellack, wir zerschlagen den Topf, wir zerstampfen die Kartoffeln, wir feilen das Eisen u. s. w.

Körper, welche eine bestimmte Gestalt haben, und deren Theile sich nur gewaltsam trennen lassen, heißen feste oder starre Körper.

Ein anderes Verhalten zeigt das Wasser. Dieses hat keine bestimmte Gestalt, sondern es nimmt stets die Form des Raumes an, in welchen es eingeschlossen ist. In einem gewöhnlichen Trinkglase z. B. bildet es eine runde Säule, in einer Wanne richtet sich seine Gestalt nach den Wänden derselben, in einer hohlen Glaskugel nimmt es die Form eines Kugelabschnitts oder einer vollständigen Kugel an.

Die einzelnen Theile des Wassers haben einen geringen Zusammenhang, und lassen sich daher leicht verschieben und von einander trennen. Stecken wir z. B. die Hand in das Wasser, so weicht es sogleich zu beiden Seiten aus, und das bloße Neigen eines Gefäßes reicht hin, um einen Theil des in ihm enthaltenen Wassers von der übrigen Masse zu trennen.

Endlich nehmen wir wahr, daß das Wasser in kleinen Mengen kugelförmige Tropfen bildet. Der Regen fällt in Tropfen aus der Wolke herab, die Thränen rinnen als Tropfen von den Wangen, Thautropfen hängen an den Spitzen der Saaten, auf einer glühenden Platte oder auf einem geölten Blatte Papier rollt das Wasser in Kugelform umher.

Dieselben Erscheinungen zeigt das Bier, der Wein, die Milch, der Weingeist, der Syrup, das Quecksilber, das geschmolzene

Digitized by Google

Blei und Eisen u. s. w. Alle diese Körper haben keine bestimmte Form, sondern sie nehmen immer die Gestalt des Raumes an, in welchen sie eingeschlossen sind; ihre Theile haben einen geringen Zusammenhang, und können daher ohne besondere Gewalt verschoben und von einander getrennt werden; in kleinen Mengen bilden die genannten Körper kugelförmige Tropfen.

Körper, welche keine bestimmte Gestalt haben, sondern die Form des sie umschließenden Raumes annehmen, und deren Theile sich leicht verschieben und trennen lassen, die endlich die Eigenthümlichkeit haben, daß sie in kleinen Mengen Tropfen bilden, heißen tropfbarflüssige Körper.

Führen wir mit einem biegsamen Stäbchen einen raschen Hieb, so vernehmen wir einen eigenthümlichen pfeifenden Schall, durch welchen ein unsichtbarer Körper, den wir durchschnitten haben, sein Dasein verräth. Es ist die atmosphärische Luft, welche unsern Erdball umgiebt, und jeden Raum, der ihr zugänglich ist, sofort erfüllt.

Auch sie hat keine bestimmte Gestalt, sondern sie nimmt, gleich den tropfbar-flüssigen Körpern, allezeit die Form des sie umschließenden Raumes an.

Daß ihre Theile noch weit leichter verschieb- und trennbar sind, ergiebt sich schon aus dem geringfügigen, fast unmerklichen Widerstande, den sie uns entgegen setzt, wenn wir uns in ihr bewegen. Es ist bekanntermaßen weit schwerer, im Wasser zu gehen, als in der Luft.

Tropfbar ist die Luft nicht. Aber eine besondere Eigenthümlichkeit besitzt sie, welche wir daraus erkennen, daß sie jeden ihr offen werdenden Raum sofort erfüllt, möge sich nun derselbe über, unter oder neben ihr befinden. Sie hat nämlich das Bestreben, sich in einen immer größeren Raum auszudehnen.

Körper, deren Theile sich noch weit leichter verschieben und trennen lassen, als dies bei den tropfbarflüssigen der Fall ist, und die zugleich das Bestreben haben, sich

Digitized by Google

in einen immer größeren Raum auszudehnen, heißen luftförmige Körper.

Außer der atmosphärischen Luft giebt es noch viele andere luftförmige Körper. Ein solcher ist z. B. die Kohlensäure, welche nicht selten den Kork aus einer Bierflasche treibt, ferner das Leuchtgas, mittelst dessen jetzt alle größeren Städte beleuchtet werden, desgleichen der Dampf, welcher aus dem siedenden Wasser emporsteigt u. s. w.

Da nach dem Vorstehenden alle Körper entweder fest (starr) oder tropfbar-flüssig oder luftförmig sind, so sagt man: die Körper kommen in drei verschiedenen Zusammenhangsformen (Aggregatsformen) vor. Ein und derselbe Körper vermag verschiedene Zusammenhangsformen anzunehmen, so wird z. B. das tropfbar-flüssige Wasser durchs Gefrieren zu starrem Eise, durch Erhitzung zu luftförmigem Dampfe.

Anmerk. Der verschiedene Grad des Zusammenhangs der Theile eines Körpers hängt von der größeren oder geringeren wechselseitigen Anziehung ab, welche dieselben gegen einander ausüben. Diese Anziehung wird Cohäsion genannt. Sie ist am bedeutendsten bei den festen, weit geringer bei den tropfbar-flüssigen Körpern und fehlt gänzlich den luftförmigen.

Ein fester Körper heißt hart, wenn sich seine Theile sehr schwer verschieben lassen; das Gegentheil ist weich. Trennen sich die Theile eines Körpers schon bei einem geringen Drucke gänzlich von einander, so heißt er spröde; das Gegentheil ist zähe. Läßt sich ein Körper in die Länge ausdehnen, ohne daß eine Trennung seiner Theile erfolgt, so wird er dehnbar genannt. Kehren die durch einen Druck aus ihrer Lage gebrachten Theile bei dem Aufhören des Druckes in ihre frühere Lage zurück, so heißt der Körper elastisch.

Erster Abschnitt.

Vom Gleichgewichte und von der Bewegung fester Körper.

§ 3. Die Schwerkraft.

Wenn der Apfel reif geworden ist, löset sich sein Stiel von dem Zweige, an welchem er festgewachsen war, und der Apfel fällt

Digitized by Google

auf die Erde. Der Stein, welchen wir in der Hand halten, fällt zu Boden, sobald wir ihn loslassen. Der Regentropfen, die Schneeflocke, das Hagelkorn fallen aus der hohen Wolke zur Erde nieder.

Die abgeschossene Kugel durchfliegt einen weiten Raum, aber sie sinkt dabei tiefer und tiefer, bis sie, wenn ihr kein Hinderniß in den Weg tritt, auf die Erde fällt. Mag die Kraft, mit welcher wir einen Stein in die Luft werfen, noch so groß sein: er steigt nur bis zu einer gewissen Höhe, dann tritt er seinen Rückweg an, und kehrt zur Erde wieder. Die leichte Flaumfeder wird vielleicht tagelang vom Winde schwebend umhergetrieben, endlich sinkt sie doch auf den Boden herab.

Mag sich der Adler mit seinen mächtigen Schwingen immerhin so hoch erheben, daß er selbst dem scharfen Auge des geübtesten Schützen unsichtbar wird — er muß zurückkehren zur Erde, der er angehört.

Auch die Luft, so leicht sie ist, kann sich von der Erde nicht entfernen; ein unsichtbares aber unzerreißbares Band hält sie fest.

So sind alle Körper, welche sich auf der Erde befinden, Gefangene derselben, und alle Versuche, einen von ihnen aus ihren Fesseln zu lösen, erweisen sich als vergeblich.

Diese Erfahrung, von welcher wir keine Ausnahme kennen, nöthiget uns anzunehmen, es müsse eine Kraft in der Erde vorhanden sein, welche alle irdischen Körper zwingt, bei ihr zu bleiben und immer wieder zu ihr zurückzukehren, und wir erkennen als ein

Naturgesetz: Die Erde zieht alle irdischen Körper an.

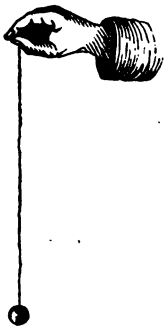
Diese Anziehungskraft der Erde pflegt man die Schwerkraft zu nennen.

§ 4. Die senkrechte Fallrichtung. Das Loth.

Heben wir einen Stein in die Höhe, und lassen ihn dann niederfallen, so fällt er nicht in irgend einer beliebigen, sondern immer in einer ganz genau bestimmten Richtung herab.

Digitized by Google

Lassen wir ihn z. B. zu einem Fenster in dem oberen Stockwerke eines Hauses herabfallen, so wird die Richtung seines Falles mit der Richtung der Mauer des Hauses gleichlaufend sein, so oft wir auch unsern Versuch wiederholen; niemals wird er seinen Weg in einem Bogen nach der gegenüber befindlichen Seite der Straße nehmen.



Um die Richtung des freien Falles genau kennen zu lernen, binden wir einen schweren Körper, z. B. ein eisernes Gewicht, eine Bleikugel oder einen Stein an einen Faden, und lassen den Körper fallen, indem wir das freie Ende des Fadens festhalten. Er kann nicht weiter fallen, als der Faden es gestattet, und dieser zeigt nun die Fallrichtung an.

Könnten wir die gerade Linie, welche der gespannte Faden bildet, genügend weit nach unten verlängern, so würde sie den Mittelpunkt der Erde treffen. Eine solche Linie heißt eine senkrechte, daher sagen wir:

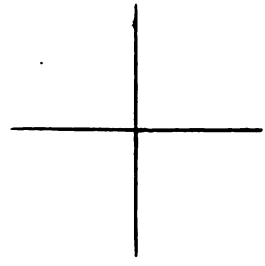
Jeder frei fallende Körper fällt senkrecht auf die Erde.

Die Mauern und Wände unserer Häuser sollen ebenfalls senkrecht stehen; es ist daher für Maurer und Zimmerleute von großer Wichtigkeit, daß sie die senkrechte Richtung genau zu finden und zu bestimmen wissen. Sie bedienen sich dazu ebenfalls einer Schnur, an welcher ein Bleigewicht hängt, und nennen dies Werkzeug das Loth. Statt senkrecht sagt man daher auch lothrecht. Dieselbe Bedeutung hat das Wort perpendikulär, indem man das Loth auch einen Perpendikel nennt. Und da der Körper eines gerade aufrecht stehenden Menschen ebenfalls die senk- und lothrechte Richtung hat, indem die gerade Linie vom Scheitel zwischen die Füße herab in ihrer Verlängerung den Mittelpunkt der Erde treffen würde, so gebraucht man auch den Ausdruck scheitelrecht, oder noch häufiger das gleichbedeutende lateinische Wort vertical (von vertex, der Scheitel).

Digitized by Google

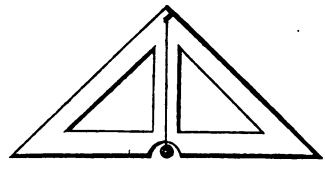
§ 5. Die wagrechte Richtung. Die Setz- oder Grundwage.

Durchschneidet man eine senkrechte Linie durch eine andere gerade Linie, so entstehen vier Winkel um den Durchschnittspunkt. Giebt man nun der zweiten Linie genau eine solche Lage, daß diese vier Winkel von gleicher Größe sind (vier rechte Winkel), so zeigt sie diejenige Richtung an, welche wir wagrecht oder horizontal nennen. Wagrecht heißt sie, weil wir sie an dem in Ruhe befindlichen Balken einer Wage wahrnehmen; horizontal wird sie genannt, weil der Theil der Erdoberfläche, welchen wir von einem freien Standpunkte aus überblicken (der Horizont oder Gesichtskreis) uns in dieser Richtung erscheint.



Gleich der senkrechten ist auch die Bestimmung der wagrechten Richtung von großer Wichtigkeit. Wir verlangen von sehr vielen Geräthschaften, z. B. von einer Tisch- oder Bankplatte, von dem Fußboden und der Decke eines Zimmers, von den die Sparren eines Daches tragenden Balken, von den Zapfenlagern einer Glocke, von dem Fußgestell einer Säule u. dgl., daß sie vollkommen wagrecht seien.

Zur Bestimmung dieser wagrechten Richtung bedienen sich die Bauhandwerker eines Werkzeuges, welches sie die Setz- oder Grundwage nennen. Dies ist ein Brett oder eine Verbindung von Latten in der Gestalt eines gleichschenkeligen Dreiecks. Von der Spitze desselben führt eine Rinne genau rechtwinkelig auf die Grundlinie. Da, wo sie diese trifft, ist die untere Kante halbkreisförmig ausgeschnitten. An der Spitze des Dreiecks ist ein Loth befestiget, dessen Faden so lang ist, daß die Kugel sich in dem Ausschnitte frei bewegen kann, doch so, daß sie hoch genug hängt, um nicht aufzustoßen, wenn man die



Digitized by Google

Grundwage auf eine Fläche stellt. Ist nun die zu prüfende Fläche horizontal, so muß, wenn die Grundwage mit ihrer unteren Kante auf derselben steht, der Faden des Lothes in der Rinne hängen, denn nur in diesem Falle bildet die Kante mit dem Faden rechte Winkel.

§ 6. Das Gewicht der Körper.

Die Schwerkraft zieht, wie wir erkannt haben, alle Körper in senkrechter Richtung nach dem Mittelpunkte der Erde hin, daher haben alle Körper das Bestreben zu fallen, und sie fallen wirklich, wenn ihnen kein Hinderniß in den Weg tritt. Werden sie durch eine Unterlage am Fallen gehindert, so üben sie einen Druck auf dieselbe aus, welchen wir ihr Gewicht nennen. Je größer ihre Masse ist, desto bedeutender ist ihr Druck, ihr Gewicht.

Dieser Druck ist uns in manchen Fällen willkommen, in anderen unangenehm.

Der Botaniker bedeckt einen Pack Pflanzen mit einem Brette, und beschwert dieses mit einem Steine, um eine Pressung zu bewirken. Die Wäschmangel (Rolle) wird mit schweren Steinen gefüllt, damit sie einen kräftigen Druck auf die Wäsche ausübe. Der untere Raum großer Schiffe wird zum Theil mit Ballast gefüllt, damit sie tief genug ins Wasser einsinken, und nicht so leicht umfallen. Hausfrauen drücken das Sauerkraut (den Sauerkohl) in der Tonne durch Steine zusammen. Der Orgelbauer legt Ziegelsteine auf die Oberplatte der Bälge, welche sie nach dem Aufziehen niederdrücken. Mittelst schwerer Walzen ebnet man die Wege, indem die hervorstehenden Steine dadurch hinabgedrückt werden.

Dagegen klagt der Lastträger über den Druck, den seine Bürde auf seine Schultern oder auf seinen Rücken ausübt; der Frachtwagen drückt mit seinen Rädern tiefe Gleise in den weichen Boden, wodurch seine Bewegung erschwert wird; schwere Sachen zerdrücken zerbrechliche Gegenstände, die unter ihnen liegen; eine Schneelawine zerknickt Häuser gleich Nußschalen; Gebäude senken

Digitized by Google

sich, wenn sie auf sumpfigem oder überhaupt nachgebendem Grunde errichtet sind; der Schnee zerbricht die Aeste der Bäume, ja selbst die Stämme, wenn er massenhaft auf ihnen liegt; die Zweige der Obstbäume werden von der Fülle der Früchte niedergebogen und nicht selten gebrochen; Brücken biegen, wenn der schwere Eisenbahnzug über sie rollt; Speicher und Schüttböden brechen, wenn sie zu schwer belastet werden u. s. w.

Die Stärke des Druckes bestimmen wir nach Körpern von genau bestimmtem Gewichte, die eben deshalb selbst *Gewichte* genannt werden, z. B. nach Centnern, Pfunden, Lothen, Quentchen u. s. f.

§ 7. Der Schwerpunkt.

Wenn ein Körper nicht fallen soll, so muß er eine feste Unterlage bekommen, er muß *unterstützt werden*. Die Erfahrung lehrt uns jedoch, daß es keineswegs nothwendig ist, ihn *in allen Punkten* zu unterstützen; wir können vielmehr für jeden Körper *einen Punkt* auffinden, dessen Unterstützung hinreichend ist, den Fall des Körpers zu verhindern. Es ist dies derjenige Punkt, von welchem aus die Theile des Körpers nach allen Seiten hin gleiches Gewicht haben, und wir nennen denselben den *Schwerpunkt*.

Eine kreisförmige Pappscheibe können wir mittelst eines Fingers oder einer Nadel so unterstützen, daß sie nicht fällt; wenn ihre Masse genau gleichförmig ist, so ist dieser Unterstützungspunkt der Mittelpunkt des Kreises. Bei einem rechtwinkeligen vierkantigen Brette liegt er dort, wo die beiden Diagonalen (die von einer Ecke zur gegenüberliegenden gezogenen geraden Linien) sich schneiden.

Sobald der Schwerpunkt nicht mehr unterstützt ist, d. h. sobald der Unterstützungspunkt nicht mehr senkrecht unter demselben liegt, *fällt der Körper*. Es ist augenscheinlich, daß ein Körper, welcher nur in einem einzigen Punkte unterstützt ist, keine sichere Lage hat. Bei der geringsten Erschütterung verschiebt er sich so, daß der Schwerpunkt ohne Unterstützung ist, und er fällt.

Digitized by Google

Will man dies verhindern, so muß man, sobald der Schwerpunkt seine Lage ändert, auch die des Unterstützungspunktes so ändern, daß er wieder senkrecht unter jenen zu liegen kommt. Darauf beruhen die Balancirkünste. Balancirt man z. B. eine senkrechte Stange auf dem Finger, so muß man, sobald sie sich zur Seite neigt, den unterstützenden Finger nach derselben Seite hin bewegen. Dieses Neigen fühlt man bei einer langen Stange leichter, als bei einem kurzen Stabe; daher läßt sich jene leichter balanciren, als dieser. Aus demselben Grunde ist es leichter, einen Degen auf der Spitze zu balanciren, als umgekehrt; denn im ersteren Falle liegt der Schwerpunkt hoch, und man wird seine Neigung leichter gewahr.

Wo liegt wohl der Schwerpunkt eines Ringes? — Offenbar im Mittelpunkte des Kreises, welchen er bildet, also gar nicht in der Masse des Ringes. Will man in diesem Falle den Schwerpunkt unterstützen, so muß man zwei oder mehrere im Mittelpunkte sich kreuzende Fäden an dem Ringe anbringen. Auch bei einem Eimer, einem Triangel u. dgl. liegt der Schwerpunkt nicht innerhalb der Masse des Körpers.

Verlangt man von einem Körper, daß er fest stehe, so darf man ihn nicht bloß in einem einzigen Punkte unterstützen, sondern man muß ihm eine ganze Fläche zur Unterstützung geben; je größer diese ist, desto fester steht der Körper. Man giebt daher einem Tische oder einem Schemel drei oder vier Beine. So lange die senkrecht vom Schwerpunkte zur Erde gedachte Linie sich zwischen diesen befindet, so lange fällt der Gegenstand nicht um. Werden die Beine nach außen gedreht, so wird die Unterstützungsfläche und somit die Standfestigkeit vergrößert.

Bei dem menschlichen Körper liegt der Schwerpunkt ungefähr in der Mitte des Unterleibes, etwas unterhalb des Magens. So lange die senkrecht von diesem Punkte zur Erde gezogene Linie zwischen unsere Füße oder wenigstens auf die von dem einen Fuße gebildete Unterstützungsfläche fällt, so lange fallen wir nicht. Daher entfernen wir die Beine von einander, wenn

Digitized by Google

wir recht fest stehen wollen; Seeleute und Fechter stehen bei ihren Verrichtungen mit ausgespreizten Beinen. Wollen wir auf einem Fuße stehen, so biegen wir den Körper nach der Seite desselben, damit der Schwerpunkt senkrecht über die feststehende Fußsohle falle.

Wenn wir gehen, so heben wir einen Fuß auf und biegen den Körper vorwärts. Dadurch verliert der Schwerpunkt seine Unterstützung, und wir fallen auf die Nase, wenn wir nicht sogleich den aufgehobenen Fuß einen Schritt vorwärts setzen, und dadurch dem Schwerpunkte wiederum eine Unterstützungsfläche geben. Unser Gehen kann daher mit Recht ein fortgesetztes Fallen genannt werden. Vierfüßige Thiere stehen natürlich fester, als der Mensch; daher wird es dem letzteren weit schwerer, gehen zu lernen, als jenen, von denen viele sogleich nach ihrer Geburt umherspringen.

Wenn wir einen Berg oder eine Treppe hinaufsteigen, so biegen wir uns vorwärts, desgleichen wenn wir eine Last auf dem Rücken tragen; wir biegen uns rückwärts beim Herabsteigen, oder wenn wir eine Last vorn tragen; wir biegen uns links, wenn wir einen schweren Gegenstand in der rechten Hand oder auf der rechten Schulter tragen, rechts dagegen, wenn das Umgekehrte stattfindet.

Wer von einem Stuhle aufsteht, zieht die Füße zurück, und biegt den Oberkörper nach vorn; bei vorgestreckten Beinen und zurückgebogenem Oberleibe kann man nicht aufstehen. Wenn wir den Oberleib nach rechts biegen, können wir nicht auf dem linken Beine stehen und umgekehrt. Wenn wir uns möglichst weit von einer Wand stellen, und uns mit dem Kopfe an dieselbe stützen, so können wir einen vor uns auf dem Boden liegenden Gegenstand nicht aufheben, ohne zu fallen.

Der Seiltänzer muß immer so stehen, daß sein Schwerpunkt sich senkrecht über dem Seile befindet. Er hat daher gewöhnlich eine schwere Balancirstange in den Händen, die er schnell nach der linken Seite bewegt, wenn er auf die rechte Seite zu fallen in Gefahr kommt und umgekehrt.

Digitized by Google

Will man dies verhindern, so muß man, sobald der Schwerpunkt seine Lage ändert, auch die des Unterstützungspunktes so ändern, daß er wieder senkrecht unter jenen zu liegen kommt. Darauf beruhen die Balancirkünste. Balancirt man z. B. eine senkrechte Stange auf dem Finger, so muß man, sobald sie sich zur Seite neigt, den unterstützenden Finger nach derselben Seite hin bewegen. Dieses Neigen fühlt man bei einer langen Stange leichter, als bei einem kurzen Stabe; daher läßt sich jene leichter balanciren, als dieser. Aus demselben Grunde ist es leichter, einen Degen auf der Spitze zu balanciren, als umgekehrt; denn im ersteren Falle liegt der Schwerpunkt hoch, und man wird seine Neigung leichter gewahr.

Wo liegt wohl der Schwerpunkt eines Ringes? — Offenbar im Mittelpunkte des Kreises, welchen er bildet, also gar nicht in der Masse des Ringes. Will man in diesem Falle den Schwerpunkt unterstützen, so muß man zwei oder mehrere im Mittelpunkte sich kreuzende Fäden an dem Ringe anbringen. Auch bei einem Eimer, einem Triangel u. dgl. liegt der Schwerpunkt nicht innerhalb der Masse des Körpers.

Verlangt man von einem Körper, daß er fest stehe, so darf man ihn nicht bloß in einem einzigen Punkte unterstützen, sondern man muß ihm eine ganze Fläche zur Unterstützung geben; je größer diese ist, desto fester steht der Körper. Man giebt daher einem Tische oder einem Schemel drei oder vier Beine. So lange die senkrecht vom Schwerpunkte zur Erde gedachte Linie sich zwischen diesen befindet, so lange fällt der Gegenstand nicht um. Werden die Beine nach außen gedreht, so wird die Unterstützungsfläche und somit die Standfestigkeit vergrößert.

Bei dem menschlichen Körper liegt der Schwerpunkt ungefähr in der Mitte des Unterleibes, etwas unterhalb des Magens. So lange die senkrecht von diesem Punkte zur Erde gezogene Linie zwischen unsere Füße oder wenigstens auf die von dem einen Fuße gebildete Unterstützungsfläche fällt, so lange fallen wir nicht. Daher entfernen wir die Beine von einander, wenn

Digitized by Google

wir recht fest stehen wollen; Seeleute und Fechter stehen bei ihren Verrichtungen mit ausgespreizten Beinen. Wollen wir auf einem Fuße stehen, so biegen wir den Körper nach der Seite desselben, damit der Schwerpunkt senkrecht über die feststehende Fußsohle falle.

Wenn wir gehen, so heben wir einen Fuß auf und biegen den Körper vorwärts. Dadurch verliert der Schwerpunkt seine Unterstützung, und wir fallen auf die Nase, wenn wir nicht sogleich den aufgehobenen Fuß einen Schritt vorwärts setzen, und dadurch dem Schwerpunkte wiederum eine Unterstützungsfläche geben. Unser Gehen kann daher mit Recht ein *fortgesetztes Fallen* genannt werden. Vierfüßige Thiere stehen natürlich fester, als der Mensch; daher wird es dem letzteren weit schwerer, gehen zu lernen, als jenen, von denen viele sogleich nach ihrer Geburt umherspringen.

Wenn wir einen Berg oder eine Treppe hinaufsteigen, so biegen wir uns vorwärts, desgleichen wenn wir eine Last auf dem Rücken tragen; wir biegen uns rückwärts beim Herabsteigen, oder wenn wir eine Last vorn tragen; wir biegen uns links, wenn wir einen schweren Gegenstand in der rechten Hand oder auf der rechten Schulter tragen, rechts dagegen, wenn das Umgekehrte stattfindet.

Wer von einem Stuhle aufsteht, zieht die Füße zurück, und biegt den Oberkörper nach vorn; bei vorgestreckten Beinen und zurückgebogenem Oberleibe kann man nicht aufstehen. Wenn wir den Oberleib nach rechts biegen, können wir nicht auf dem linken Beine stehen und umgekehrt. Wenn wir uns möglichst weit von einer Wand stellen, und uns mit dem Kopfe an dieselbe stützen, so können wir einen vor uns auf dem Boden liegenden Gegenstand nicht aufheben, ohne zu fallen.

Der Seiltänzer muß immer so stehen, daß sein Schwerpunkt sich senkrecht über dem Seile befindet. Er hat daher gewöhnlich eine schwere Balancirstange in den Händen, die er schnell nach der linken Seite bewegt, wenn er auf die rechte Seite zu fallen in Gefahr kommt und umgekehrt.

Digitized by Google

Wagen und Schiffe werden stets so beladen, daß die schwersten Waaren nach unten kommen, damit der Schwerpunkt möglichst tief liegt, weil derselbe sonst bei einer Schwankung zu leicht seine Unterstützung verliert. Wenn ein Wagen beim Fahren umzuwerfen droht, so thut man wohl, sitzen zu bleiben, weil durch das Aufstehen der Schwerpunkt des Ganzen gehoben wird.

Der 300 Fuß hohe schiefe Thurm zu Pisa liegt 12 Fuß über, der 130 Fuß hohe zu Bologna 9 Fuß, und beide stehen fest, weil ihr Schwerpunkt noch senkrecht über der Unterstützungsfläche liegt.

Falsche Würfel sind nicht durchgängig von gleicher Dichtigkeit, und der Schwerpunkt liegt dem dichtesten Theile am nächsten. Ist er nun der mit • bezeichneten Seite am nächsten, so fällt der Würfel stets auf diese, und ⁚⁚ liegt oben. Bei den Purzelmännchen oder Stehaufmännlein, und bei den Gläsern, welche sich von selbst aufrichten, wenn man sie auf die Seite legt, befindet sich der Schwerpunkt nahe an der Grundfläche.

Der Kreisel, das bekannte Spielzeug der Kinder, fällt bei seinem Tanze nicht um, weil der Schwerpunkt, wenn er sich nach der einen Seite neigt, im nächsten Augenblicke ebensoweit nach der andern überhängt, und um den Unterstützungspunkt fortwährend einen Kreis beschreibt. Derselbe Fall findet statt, wenn man einen Knopf, durch den ein Stäbchen gesteckt ist, tanzen läßt, oder wenn man einen Teller auf seiner Kante in schnelle, drehende Bewegung versetzt.

Aus dem Vorstehenden ergeben sich folgende Gesetze:

1) **Jeder Körper steht so lange fest, als sein Schwerpunkt senkrecht über dem Unterstützungspunkte oder über der Unterstützungsfläche liegt.**
2) **Ein Körper steht um so fester, je größer seine Unterstützungsfläche, und je näher sein Schwerpunkt der Mitte derselben ist.**

Hängt man einen Körper auf, so nimmt er eine solche Lage an, daß sein Schwerpunkt senkrecht unter den Auf-

Digitized by Google

hängungspunkt zu liegen kommt. Daraus ergeben sich die sonderbaren Stellungen, in denen wir in einer Küche manche Geräthschaften, z. B. Trichter, Krüge u. dgl. und in Werkstätten das Handwerkzeug an den Wänden hängen sehen.

§ 8. Ruhe und Bewegung der Körper.

Ein Körper *ruht*, wenn er unverändert an einem und demselben Orte und in derselben Lage bleibt; er *bewegt sich*, wenn er seine *Lage* oder seinen *Ort* oder beides verändert.

Alles in der Natur ist in steter Bewegung, denn auch alle diejenigen irdischen Körper, welche sich in vollkommener Ruhe zu befinden scheinen, fliegen zugleich mit der Erde durch den weiten Weltraum dahin; es giebt daher keinen Körper, welcher sich in *vollkommener* (absoluter) *Ruhe* befindet.

Wir täuschen uns gar oft in Beziehung auf Bewegung und Ruhe der Körper. Wir meinen, die Erde stehe still, die Sonne dagegen gehe am Morgen auf, bewege sich in einem Kreisbogen am Himmel, und sinke am Abende wieder unter den Horizont hinab. Die Ufer scheinen sich dem auf einem Flusse Schiffenden entgegen zu bewegen, ebenso die Straßenbäume dem schnell Fahrenden. Wer auf einem stillstehenden Eisenbahnzuge sitzt, an welchem ein anderer vorübereilt, glaubt in Bewegung zu sein, und wird von seiner Täuschung nur frei, wenn er einen unbeweglichen Gegenstand, z. B. ein Haus, ins Auge faßt. Daher spricht man von *wahrer* und *scheinbarer Ruhe und Bewegung*.

§ 9. Das Beharrungsgesetz.

Nichts in der Natur geschieht ohne Ursache. Daher geräth kein ruhender Körper von selbst in *Bewegung*, sondern es *wird eine Kraft dazu erfordert, um ihn in Bewegung* zu setzen. Ebensowenig kommt ein bewegter Körper von selbst in *Ruhe*, er kann nur durch Einwirkung irgend einer Kraft in dieselbe versetzt werden. Auch die *Geschwindigkeit* und die *Richtung der Bewegung* können sich von selbst nicht

Digitized by Google

ändern, sie würden unaufhörlich in derselben Weise fortdauern, wenn keine Kraft auf sie einwirkte.

Werfen wir eine Kegelkugel, so daß sie zu rollen beginnt, so läuft sie, obschon unsere Muskelkraft nicht ferner auf sie einwirkt, die Bahn entlang und zwar bleibt sie, wenn ihr kein Hinderniß in den Weg kommt, in unveränderter Richtung. Sie würde unaufhörlich fortrollen, wenn ihre Bewegung nicht durch die Reibung an die Unebenheiten des Bodens und durch den Widerstand der Luft allmählig verlangsamt und endlich aufgehoben würde. Je ebener die Fläche ist, auf der sich die Kugel bewegt, desto länger dauert ihr Lauf, z. B. läuft sie auf einer spiegelglatten Eisfläche ungleich weiter als auf einem rauhen Brette oder auf dem höckerigen Boden.

Die aus einem Schießgewehre abgeschossene Kugel erhält nur einen augenblicklichen Stoß durch die Kraft des Pulvers; dennoch fliegt sie durch die Luft dahin, bis der Widerstand derselben ihre Bewegung immer langsamer gemacht hat, und die Anziehungskraft der Erde sie niederzieht.

Demzufolge lautet das Beharrungsgesetz:

Ein ruhender Körper bleibt so lange in Ruhe, bis er durch eine Kraft in Bewegung gesetzt wird; ein bewegter Körper aber bewegt sich in gleicher Geschwindigkeit und Richtung fort, bis durch die Einwirkung einer Kraft eine Veränderung darin bewirkt wird.

Man pflegt daher von einem „Beharrungsvermögen der Körper“ zu sprechen, welches man auch wohl „die Trägheit“ nennt; doch sind diese Ausdrücke nicht eben passend gewählt, insofern sie eine gar nicht vorhandene besondere Eigenschaft oder Kraft der Körper zu bezeichnen scheinen.

Aus dem Beharrungsgesetze lassen sich mancherlei Erscheinungen leicht erklären.

Wenn mehrere Körper mit einander in Verbindung stehen, doch so, daß sie nicht ein Ganzes ausmachen, so geschieht es oft, daß, wenn sie sich eine Zeitlang gemeinschaftlich bewegt haben, und der eine von ihnen plötzlich zur Ruhe kommt, der andere

Digitized by Google

seine Bewegung noch fortsetzt. Ebenso nehmen wir wahr, daß, wenn sie sich mit einander im Zustande der Ruhe befinden, und der eine von ihnen plötzlich in Bewegung geräth, der andere noch einen Augenblick in der Ruhe verharrt.

Daher schwanken wir rückwärts, wenn der stillstehende Wagen, in welchem wir sitzen, plötzlich fortgezogen wird. Unser Oberkörper bleibt nämlich noch einen Augenblick in Ruhe, während der mit dem Sitze genauer verbundene untere Theil des Körpers zugleich mit dem Wagen fortbewegt wird.

Umgekehrt schwanken wir vorwärts, wenn der rasch fahrende Wagen, in welchem wir sitzen, plötzlich stillsteht; denn unser Oberkörper setzt die Bewegung, in welcher er sich befindet, noch einen Augenblick fort.

Gehen wir mit einem vollen Wasserglase vorwärts, und bleiben plötzlich stehen, so fließt das Wasser, indem es seine Bewegung fortsetzt, nach vorn über. Ergreifen wir dagegen ein ruhig stehendes Wasserglas, und bewegen es plötzlich rasch vorwärts, so fließt das Wasser auf der uns zugekehrten Seite über, weil es noch einen Augenblick an seiner Stelle verharrt.

Wenn ein fahrendes Schiff plötzlich an das Ufer oder an einen andern Gegenstand anstößt, so fallen die in demselben befindlichen Personen um, und zwar nach der Richtung zu, wohin das Schiff fuhr.

Beim Schreiben wird die Dinte zugleich mit der Feder bewegt; bleibt letztere an einer Unebenheit des Papieres hängen, so spritzt die Dinte fort.

Reiter stürzen nach vorn über den Hals des Pferdes herab, wenn dasselbe im schnellsten Laufe plötzlich stillsteht; sie sinken mit dem Oberkörper zurück, wenn das stehende Pferd plötzlich zu laufen beginnt.

Die auf ihrem Stiele locker gewordene Axt wird wieder fest, wenn man mit dem untern Ende des Stieles einige Male auf einen harten Körper stößt. Warum?

Legt man ein Kartenblatt mit einem Geldstücke auf ein Glas, und schnellt ersteres mit dem Finger kräftig zur Seite, so fliegt es hinweg, und das Geldstück fällt in das Glas.

Digitized by Google

Wenn wir im raſchen Laufe plötzlich einen Graben vor uns ſehen, ſo können wir uns nicht augenblicklich in Ruhe verſetzen, ſondern wir müſſen hinüber oder hinein ſpringen. Schlittſchuhläufer gerathen daher in große Gefahr, wenn ſie im heftigen Laufe plötzlich an offenes Waſſer kommen.

Schlägt man mit einer Peitſche oder mit einem biegſamen Stäbchen an einen Baumſtamm, ſo bewegt ſich das freie Ende weiter und krümmt ſich um denſelben.

Die Aſche einer Cigarre fällt ab, wenn man letztere an einen harten Gegenſtand ſtößt.

Die Locomotive rollt noch eine große Strecke weiter, wenn auch die Wirkung der Dampfkraft bereits aufgehört hat, und Rennpferde laufen weit über den das Ende der Bahn bezeichnenden Merkpfahl hinaus.

Wer von den Kufen eines ſchnell fahrenden Schlittens plötzlich herabſpringt, fällt zu Boden, und viele Menſchen ſind ſchon zu Schaden gekommen oder haben ihren Tod gefunden, indem ſie, als die ſcheu gewordenen Pferde durchgingen, von dem in ſchnellſter Bewegung befindlichen Wagen herabſprangen.

Baut man eine Säule von Damenbrettſteinen, und ſchlägt mittelſt eines Meſſers einen der Steine kräftig zur Seite, ſo fliegt nur dieſer heraus, und die über demſelben befindlichen Steine fallen ſenkrecht auf die unteren, ſo daß die Säule nicht einſtürzt.

Auch die ununterbrochene Bewegung der Weltkörper erklärt ſich aus dem Beharrungsgeſetze.

§ 10. Die Urſachen der Bewegung.

Als eine der wichtigſten bewegenden Kräfte haben wir bereits die Anziehungskraft der Erde oder die Schwerkraft kennen gelernt, indem ſie es iſt, welche das Fallen der Körper bewirkt. Aber auch noch viele andere Kräfte können Bewegungen der Körper hervorrufen, und ſie werden zu dieſem Zwecke von den Menſchen in mannigfachſter Weiſe benutzt.

Digitized by Google

Der Stoß und Druck des Windes treibt Windmühlen und Segelschiffe; der Stoß und Druck des fließenden Wassers setzt die Räder der Wassermühle in Bewegung; das Streben des Wasserdampfes, sich auszudehnen, bewegt die Dampfmaschine; indem die zusammengedrückte elastische Uhrfeder wieder ihre vorige Gestalt einzunehmen sucht, wird die Taschenuhr in Gang gebracht (§ 45), während das Räderwerk der Thurmuhr durch das herabsinkende Gewicht bewegt wird; die Ausdehnungskraft der aus dem Schießpulver bei seiner Entzündung frei werdenden Luftarten treibt die Kugel aus dem Rohre des Feuergewehrs, der Pfeil aber wird durch die Elasticität der Sehne des Bogens fortgeschleudert u. s. w.

In sehr vielen Fällen werden die Körper durch die Muskelkraft der Menschen und Thiere in Bewegung versetzt. Der Läuter bringt die Glocke durch Ziehen in Schwung; wir schieben die Schubkarre mittelst unserer Arme fort; der Hausknecht rollt das Faß; der Müller trägt den schweren Getreidesack fort; der Kutscher schwingt die Peitsche, der Soldat den Säbel; der Schleifer, der Drechsler und die Spinnerin drücken den Fußtritt nieder; der Töpfer bringt die Scheibe mittelst der Ferse in Umschwung; der Calcant zieht die Orgelbälge auf, indem er den Arm eines Hebels niedertritt; Lauf- und Treträder, Pumpen, Handmühlen, Ruder u. s. w. werden durch Menschenkraft bewegt; die Zugthiere ziehen unsere Lastwagen auf den Straßen; Pferde setzen das Räderwerk der Lohmühle in Gang u. s. f.

Wir werden weiter unten sehen, durch welche Hülfsmittel der Mensch sein oft große Anstrengung erforderndes Bewegungswerk sich erleichtert.

§ 11. Die Größe der Bewegung.

Bewegt man einen Stock langsam auf die Handfläche herab, so fühlt man wenig bei der Berührung; läßt man dagegen denselben Stock mit großer Geschwindigkeit auf die Hand niedersinken, so erregt er einen heftigen Schmerz.

Digitized by Google

Wirft man einen eisernen Nagel oder eine Bleikugel nach einem Brette, so fallen beide herab, ohne eine merkliche Wirkung zu thun; dagegen dringt ersterer, wenn er aus einem Blaserohre abgeschossen wird, so tief in das Holz ein, daß er fest darin haftet, und die aus der Büchse durch die Kraft des Pulvers herausgetriebene Kugel durchbohrt das Brett gänzlich.

Ein langsam gehender Mensch wirft einen Andern, an den er aus Versehen anstößt, nicht zu Boden, wohl aber derjenige, der im schnellsten Laufe auf ihn trifft.

Wir werden weiterhin erfahren, daß die Bewegung eines fallenden Körpers immer schneller wird, je tiefer er fällt. Daher vermag ein kleiner Stein, der von einer bedeutenden Höhe herab einem Menschen auf den Kopf fällt, diesen zu tödten, und Bergleute, die sich in einem tiefen Schachte befanden, sind dadurch ums Leben gekommen, daß ein Stein, der kaum Haselnußgröße hatte, von oben auf sie herabfiel.

Aus diesen Beispielen erkennen wir:

die Kraft, mit welcher ein bewegter Körper einen andern trifft, nimmt mit seiner Geschwindigkeit zu.

Aber auch die Masse des bewegten Körpers kommt in Betracht. Eine zehnpfündige Geschützkugel wirkt doppelt so stark, als eine gleichschnell fliegende fünfpfündige. Eine Axt von vier Pfund Schwere dringt doppelt so kräftig in das Holz ein, als eine andere, welche nur halb so viel wiegt, wenn beide mit gleicher Geschwindigkeit sich bewegen. Aehnlich verhält es sich mit der Wirkung zweier Hämmer von verschiedenem Gewichte.

Fliegt dagegen eine zehnpfündige Kanonenkugel nur halb so schnell, als eine fünfpfündige, so ist die Wirkung beider Kugeln gleichgroß. Eine sechs Pfund schwere Kugel, welche in einer Secunde einen Weg von 1500 Fuß zurücklegt, wirkt eben so kräftig, als eine 1500 Pfund schwere Eisscholle, welche in der Secunde nur 6 Fuß weit sich fortbewegt.

Daher können wir als Gesetz über die Kraft eines bewegten Körpers, oder, wie man auch sagt, über die Größe der Bewegung aussprechen:

Digitized by Google

Je größer die Masse und die Geschwindigkeit eines bewegten Körpers ist, desto größer ist die Kraft, mit welcher derselbe wirkt.

§ 12. Die Richtung der Bewegung. Zusammengesetzte Bewegung.

Geben wir einem auf einer ebenen Fläche liegenden Balle einen Stoß, so rollt er in derjenigen Richtung fort, welche ihm durch den Stoß ertheilt wurde. Bläset der Wind von Osten her gegen das Segel eines auf einem stehenden Gewässer befindlichen Schiffes, so bewegt sich dieses nach Westen zu.

Nicht selten aber wirken *mehrere bewegende Kräfte* zugleich auf einen Körper ein.

Geschieht dies in *einer und derselben Richtung*, so kommt der Körper mit einer Geschwindigkeit vorwärts, welche der Summe beider Kräfte gleich ist. Beispiele hierzu können wir oftmals sehen. Der Schubkärrner spannt vor sein Fahrzeug nicht selten einen Menschen oder einen Hund, welcher zieht, während jener stößt. Soll ein Wagen durch Menschenkräfte fortgeschoben werden, so zieht eine Person an der Deichsel, andere drücken an den Laststäben. Boote und Kähne werden oft gleichzeitig durch den Wind und durch Ruder fortgetrieben, und bewegen sich natürlicher Weise schneller, als wenn nur eine von diesen Kräften thätig wäre. Wenn ein Schiff von einem bestimmten Punkte aus in einer Minute eine Strecke von 500 Fuß zurücklegt, ein auf demselben befindlicher Mensch aber ist in derselben Zeit 60 Fuß vorwärts gegangen, so hat er sich $500 + 60 = 560$ Fuß von dem Ausgangspunkte entfernt.

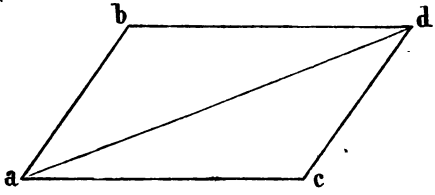
Es kann aber auch der Fall eintreten, daß zwei bewegende Kräfte einander *in gerader Linie entgegen* wirken. Sind dieselben einander völlig gleich, so bleibt der Körper in Ruhe. Wenn z. B. ein Ruderer sein Segelboot mit einer gewissen Kraft nach Osten, der Wind aber dasselbe mit gleicher Kraft nach Westen zu treibt, so wird das Fahrzeug nicht von der Stelle kommen. Wir sehen oft zwei gleichstarke mit einander

Digitized by Google

ringende Knaben längere Zeit unbeweglich bleiben, obgleich jeder von ihnen alle Kraft aufbietet, um seinen Gegner fortzudrängen. Bewegt sich ein Kahn in einer Minute 50 Fuß weit vorwärts, ein Mensch aber geht auf demselben in der gleichen Zeit 50 Fuß rückwärts, so wird sich derselbe noch immer dem nämlichen Gegenstande am Ufer gegenüber befinden. Wäre dagegen der Kahn 500 Fuß vorwärts gekommen, der Mensch aber wäre nur 80 Fuß zurückgegangen, so wäre er in der That 500 — 80 = 420 Fuß vorwärts gekommen.

Nicht selten wirken aber die bewegenden Kräfte unter einem Winkel auf einen Körper. Dies sehen wir z. B., wenn ein Kahn quer über einen Fluß fährt. Die Kraft der Ruderer will ihn in gerader Linie hinüber treiben; die Strömung des Wassers aber bewegt ihn stromabwärts. Unter diesen Umständen erreicht er das jenseitige Ufer nicht geradeüber vom Punkte der Abfahrt, sondern eine Strecke weiter stromabwärts. Soll er aber an einem genau gegenüberliegenden Punkte ankommen, so müssen die Ruderer ihn stromaufwärts treiben.

Solche Bewegung heißt zusammengesetzt. Man kann die Richtung des von zwei unter einem Winkel wirkenden Kräften bewegten Körpers, und den Punkt, bis zu welchem er in einer bestimmten Zeit gelangt, leicht durch eine Zeichnung finden, welche man das Parallelogramm der Kräfte nennt.



Wirken auf einen im Punkte a befindlichen Körper zwei Kräfte, von denen ihn die eine, wenn sie allein thätig wäre, in einer Secunde bis nach b, die andere, für sich allein wirkend, bis nach c bringen würde, so folgt der Körper keiner dieser Richtungen, er nimmt vielmehr eine mittlere an. Diese findet

Digitized by Google

man, wenn man zu jeder der gegebenen Linien eine andere parallel zieht, so daß ein Viereck entsteht, dessen gegenüberliegende Seiten parallel und einander gleich sind, — das sogenannte Parallelogramm der Kräfte (a b d c). Die Richtung, welche der von den beiden Kräften bewegte Körper einschlägt, und der Punkt, bis zu welchem er in einer Secunde gelangt, wird durch die in dem Parallelogramm von dem Ausgangspunkte bis in den diesem gegenüber liegenden Punkte gezogene gerade Linie (Diagonale) a d bestimmt.

Daher gilt das Gesetz:

Wenn auf einen Körper zwei Kräfte in verschiedener (aber nicht entgegengesetzter) Richtung wirken, so bewegt sich derselbe in der Diagonale des Parallelogramms der Kräfte.

§ 13. Die Hindernisse der Bewegung.

Mag ein Körper noch so glatt und eben erscheinen, so hat er dennoch unzählige Erhöhungen und Vertiefungen, sollten dieselben auch nur mittelst eines Vergrößerungsglases wahrnehmbar sein. Bewegt sich nun ein Körper auf dem andern fort, so muß der Widerstand dieser an ihren Berührungsflächen vorhandenen Unebenheiten überwunden werden, indem die Erhabenheiten entweder losgerissen oder verschoben werden, oder indem die Erhabenheiten des einen Körpers die des andern übersteigen. Dadurch geht ein größerer oder geringerer Theil der Bewegung verloren, ja sie hört endlich auf. Man nennt diesen Widerstand die Reibung. Sie ist um so bedeutender, je erheblicher die Unebenheiten der sich berührenden Flächen sind; sie nimmt ferner mit der Größe der drückenden Last zu.

Wollen wir nun einen Körper mit dem möglichst geringen Kraftaufwande auf einer Unterlage fortbewegen, so müssen wir die Unebenheiten derselben so viel als möglich zu beseitigen suchen.

Auf einer spiegelglatten Eisfläche wird der Stuhlschlitten sammt der auf demselben sitzenden Person schon durch einen schwachen Druck des Schlittschuhfahrers pfeilschnell fortbewegt.

Digitized by Google

Ebenſo haben die Pferde bei dem Ziehen eines Schlittens auf guter, glattgefrorner Schneebahn eine ſehr geringe Reibung zu überwinden. Wollen wir dagegen eine Laſt mittelſt einer ſchlittenähnlichen Schleife auch auf der beſten Landſtraße fortſchaffen, ſo iſt die Reibung ſehr groß und es wird ein bedeutender Aufwand von Kraft erfordert. Man nennt ſolche Reibung die gleitende.

Weit geringer iſt der Widerſtand bei rollenden Körpern, z. B. Walzen und Rädern; denn während der gleitende Körper die Unebenheiten der Unterlage gewaltſam hinwegſchaffen muß, hebt der ſich wälzende Körper bei ſeiner Fortbewegung ſeine Erhöhungen aus den Vertiefungen der Bahn empor, und kommt mittelſt eines unbedeutenderen Kraftaufwandes vorwärts. Aus dieſem Grunde ſchafft man ſchwere Laſten auf Rollen oder Walzen fort, und wendet für den gewöhnlichen Transport Wagen mit Rädern an. Aber auch bei dieſen iſt ein großer Unterſchied hinſichtlich der Reibung vorhanden, je nachdem ſie auf einem moraſtigen, ſandigen oder mit Steinen bedeckten Wege, oder auf einer wohlgeebneten Kunſtſtraße bewegt werden ſollen. Ungleich geringer als auf der beſten Chauſſee iſt die Reibung der Räder auf den Schienen der Eiſenbahn; auf einer ſolchen vermag ein Pferd wohl zehnmal ſo viel zu ziehen, als auf einer guten Straße.

Bei den Axen der Wellen einer Maſchine und der Wagenräder vermindert man die Reibung durch Einſchmieren mit fettigen Stoffen, z. B. mit Oel, Talg, Wagenpech u. dgl.

So hinderlich uns aber auch die Reibung oft ſein mag, ſo wichtig und unentbehrlich iſt ſie doch. Wie der glatte Aal unſern Händen entgleitet, ſo würden wir ohne Reibung keinen Gegenſtand feſtzuhalten vermögen. Keine Schreibfeder, keinen Bleiſtift könnten wir zwiſchen den Fingern halten; kein Bindfaden vermöchte ein Paket zuſammenzuſchnüren; keine Leiter bliebe an der Wand liegen; keine Schlinge könnte geſtrickt werden; die Fäden der gewebten Stoffe würden aus einander fallen; es hielte kein Knoten und keine Schleife; ja, wir könnten weder ſtehen noch

Digitized by Google

gehen und kein Wagen käme von der Stelle, da sich kein Rad drehete. Der letztere Fall tritt in der That auf Eisenbahnen ein, wenn die Schienen mit Glatteis bedeckt sind. Ohne Reibung würde die Bewegung eines Rades auf ein anderes durch eine um beide geschlungene Schnur nicht übertragen werden können, wie dies z. B. bei dem Spinnrade geschieht. (§ 36.)

In manchen Fällen vermehren wir sogar absichtlich die Reibung, um Bewegungen, die uns unangenehm oder nachtheilig sind, zu verlangsamen oder gänzlich zu verhindern. Der Fuhrmann, welcher bergige Gegenden zu passiren hat, vergißt seinen Hemmschuh nicht, mittelst dessen er die rasche Bewegung der Räder in eine langsamere, schleifende verwandelt, oder er hat ein Bremswerk an seinem Wagen, welches er auf steilen Wegen an die Räder anschließt. Solche Vorrichtungen sind auch bei den Locomotiven und bei vielen Maschinen unentbehrlich. — Wenn die Haare des Violinbogens glatt oder fettig sind, so erzeugt er keinen Ton; daher wird derselbe durch das Geigenharz (Colophonium) rauh gemacht, und dadurch in den Stand gesetzt, die Saiten in Schwingung zu bringen. — Die Knöpfe solcher Schrauben, die mit der Hand gedreht werden müssen (z. B. die Stellschrauben der Lampen), versieht man mit einem verzierten Rande, damit sie den Fingern nicht entgleiten. — Die Reibhölzchen kommen nur zum Brennen, wenn man sie auf einer rauhen Fläche streicht.

Zu den Hindernissen der Bewegung gehört auch der Widerstand des Mittels, durch welches sich ein Körper fortbewegt, z. B. der Luft, des Wassers. Je dichter dieses Mittel ist, ein desto größeres Hinderniß setzt es der Bewegung entgegen; wir vermögen z. B. weit leichter in der Luft als im Wasser zu gehen, weil sich die Theile der ersteren weit leichter verschieben, als die des letzteren. Man sucht den Widerstand des Wassers dadurch zu verringern, daß man den Körpern nach der Richtung der Bewegung hin eine scharfe Kante giebt, wie dies z. B. bei den Schiffen der Fall ist. Auch der Körper der Fische und der Vögel ist um desselben Zweckes willen kahnförmig gebaut. —

Digitized by Google

Ebenso haben die Pferde bei dem Ziehen eines Schlittens auf guter, glattgefrorner Schneebahn eine sehr geringe Reibung zu überwinden. Wollen wir dagegen eine Last mittelst einer schlittenähnlichen Schleife auch auf der besten Landstraße fortschaffen, so ist die Reibung sehr groß und es wird ein bedeutender Aufwand von Kraft erfordert. Man nennt solche Reibung die gleitende.

Weit geringer ist der Widerstand bei rollenden Körpern, z. B. Walzen und Rädern; denn während der gleitende Körper die Unebenheiten der Unterlage gewaltsam hinwegschaffen muß, hebt der sich wälzende Körper bei seiner Fortbewegung seine Erhöhungen aus den Vertiefungen der Bahn empor, und kommt mittelst eines unbedeutenderen Kraftaufwandes vorwärts. Aus diesem Grunde schafft man schwere Lasten auf Rollen oder Walzen fort, und wendet für den gewöhnlichen Transport Wagen mit Rädern an. Aber auch bei diesen ist ein großer Unterschied hinsichtlich der Reibung vorhanden, je nachdem sie auf einem morastigen, sandigen oder mit Steinen bedeckten Wege, oder auf einer wohlgeebneten Kunststraße bewegt werden sollen. Ungleich geringer als auf der besten Chaussee ist die Reibung der Räder auf den Schienen der Eisenbahn; auf einer solchen vermag ein Pferd wohl zehnmal so viel zu ziehen, als auf einer guten Straße.

Bei den Axen der Wellen einer Maschine und der Wagenräder vermindert man die Reibung durch Einschmieren mit fettigen Stoffen, z. B. mit Oel, Talg, Wagenpech u. dgl.

So hinderlich uns aber auch die Reibung oft sein mag, so wichtig und unentbehrlich ist sie doch. Wie der glatte Aal unsern Händen entgleitet, so würden wir ohne Reibung keinen Gegenstand festzuhalten vermögen. Keine Schreibfeder, keinen Bleistift könnten wir zwischen den Fingern halten; kein Bindfaden vermöchte ein Paket zusammenzuschnüren; keine Leiter bliebe an der Wand liegen; keine Schlinge könnte gestrickt werden; die Fäden der gewebten Stoffe würden aus einander fallen; es hielte kein Knoten und keine Schleife; ja, wir könnten weder stehen noch

Digitized by Google

gehen und kein Wagen käme von der Stelle, da sich kein Rad drehete. Der letztere Fall tritt in der That auf Eisenbahnen ein, wenn die Schienen mit Glatteis bedeckt sind. Ohne Reibung würde die Bewegung eines Rades auf ein anderes durch eine um beide geschlungene Schnur nicht übertragen werden können, wie dies z. B. bei dem Spinnrade geschieht. (§ 36.)

In manchen Fällen vermehren wir sogar absichtlich die Reibung, um Bewegungen, die uns unangenehm oder nachtheilig sind, zu verlangsamen oder gänzlich zu verhindern. Der Fuhrmann, welcher bergige Gegenden zu passiren hat, vergißt seinen Hemmschuh nicht, mittelst dessen er die rasche Bewegung der Räder in eine langsamere, schleifende verwandelt, oder er hat ein Bremswerk an seinem Wagen, welches er auf steilen Wegen an die Räder anschließt. Solche Vorrichtungen sind auch bei den Locomotiven und bei vielen Maschinen unentbehrlich. — Wenn die Haare des Violinbogens glatt oder fettig sind, so erzeugt er keinen Ton; daher wird derselbe durch das Geigenharz (Colophonium) rauh gemacht, und dadurch in den Stand gesetzt, die Saiten in Schwingung zu bringen. — Die Knöpfe solcher Schrauben, die mit der Hand gedreht werden müssen (z. B. die Stellschrauben der Lampen), versieht man mit einem verzierten Rande, damit sie den Fingern nicht entgleiten. — Die Reibhölzchen kommen nur zum Brennen, wenn man sie auf einer rauhen Fläche streicht.

Zu den Hindernissen der Bewegung gehört auch der Widerstand des Mittels, durch welches sich ein Körper fortbewegt, z. B. der Luft, des Wassers. Je dichter dieses Mittel ist, ein desto größeres Hinderniß setzt es der Bewegung entgegen; wir vermögen z. B. weit leichter in der Luft als im Wasser zu gehen, weil sich die Theile der ersteren weit leichter verschieben, als die des letzteren. Man sucht den Widerstand des Wassers dadurch zu verringern, daß man den Körpern nach der Richtung der Bewegung hin eine scharfe Kante giebt, wie dies z. B. bei den Schiffen der Fall ist. Auch der Körper der Fische und der Vögel ist um desselben Zweckes willen kahnförmig gebaut. —

Digitized by Google

Wie aber die Reibung sich oft nützlich erweiset, so auch der in Rede stehende Widerstand. Er macht das Schwimmen, Rudern und Fliegen möglich; er läßt den Fallschirm des Luftschiffes nur langsam herabsinken.

Das dritte Haupthinderniß der Bewegung ist die Steifigkeit der Stricke, welche bei Maschinen über Rollen und Walzen gewunden werden, und sich nicht ohne Widerstand krümmen lassen.

§ 14. Die Gesetze für den freien Fall der Körper.

Wie alle irdischen Körper dergestalt von der Erde angezogen werden, daß sie das Bestreben zeigen, in senkrechter Richtung nach dem Mittelpunkte derselben hin zu fallen, wurde § 3. und 4. klar gemacht.

Nun zieht die Schwerkraft alle Körper mit gleicher Stärke an, sie müßten demnach auch alle mit gleicher Geschwindigkeit herabfallen. Dem widerspricht aber die Erfahrung; denn eine Bleikugel fällt ungleich schneller zur Erde, als ein Blatt Papier oder eine Flaumfeder. Dieser Widerspruch ist jedoch nur ein scheinbarer, denn daß der eine Körper langsamer fällt, als der andere, rührt nur von dem Widerstande der Luft her, der bei einem weniger dichten und in eine größere Fläche ausgebreiteten Körper bedeutender sein muß. Alle Versuche, welche in einem Raume angestellt wurden, aus dem man die Luft gepumpt hatte, haben dargethan, daß, wenn der Widerstand der Luft beseitigt ist, ein Dukaten und eine Flaumfeder mit gleicher Geschwindigkeit zu Boden fallen. Wenn man auf einen zwischen zwei Fingern wagrecht gehaltenen Thaler ein Papierschnitzel oder eine kleine Feder legt und dann den Thaler aus einer mäßigen Höhe fallen läßt, so gelangt das Papier oder die Feder mit dem Thaler, wenn derselbe während des Fallens in wagrechter Lage bleibt, gleichzeitig auf den Boden, indem der voranfallende Thaler den Widerstand der Luft überwindet. Daraus ergiebt sich das Gesetz:

Im luftleeren Raume fallen alle Körper gleich schnell.

Digitized by Google

Die Erfahrung lehrt, daß ein Körper mit desto größerer Kraft auffällt, je bedeutender die Höhe ist, von welcher er herabkommt. Ein kleiner Stein, welcher aus einer Höhe von wenigen Fuß auf den Kopf eines Menschen herabfällt, wird ihn nicht beschädigen; er kann ihn aber tödten, wenn er von einem Thurme herabfällt (s. § 11). In beiden Fällen ist die Masse des Körpers die nämliche; die vergrößerte Wirkung kann demnach nur von der größeren Geschwindigkeit herrühren, welche der Körper bei seinem längeren Falle erlangt hat.

Aehnliche Beispiele sind: die bedeutende Kraft der Hagelkörner, ja der Regentropfen (steter Tropf höhlt den Stein); der heftige Schmerz, welchen der Badende empfindet, welcher sich von einem hohen Ufer herab platt aufs Wasser wirft; die kräftigere Wirkung, welche der sogenannte Bär (das Rammklotz) bei einer Ramm-Maschine ausübt, wenn er höher gehoben wird; die mit zunehmender Höhe wachsende Gefahr für einen auf den Boden herab Springenden oder Fallenden.

Wir ersehen hieraus:

Die Geschwindigkeit eines frei fallenden Körpers ist keine gleichmäßige, sondern eine fortwährend zunehmende.

Daß dies auch nicht anders sein könne, werden wir leicht einsehen, wenn wir die Art und Weise, wie die Schwerkraft wirkt, uns lebendig vergegenwärtigen.

Geben wir einer auf einer ebenen Fläche liegenden Kugel einen Stoß, so würde sie mit der ihr durch denselben verliehenen Geschwindigkeit fortrollen, wenn nicht die Reibung und der Widerstand der Luft (§ 13) ihre Bewegung allmählig mehr und mehr verlangsamte und endlich ganz zum Aufhören brächte. Laufen wir dagegen der rollenden Kugel nach, und versetzen ihr immer neue Stöße in derselben Richtung, so muß offenbar ihre Bewegung immer schneller werden, da zu der Geschwindigkeit, welche sie durch den ersten Stoß erhielt, immer neue hinzu kommt.

In ähnlicher Weise verhält es sich mit der Schwerkraft, die ja eine stetig, d. h. unaufhörlich wirkende ist. Hat dieselbe

Digitized by Google

einem fallenden Körper im ersten Augenblicke eine gewisse Geschwindigkeit mitgetheilt, so muß diese im folgenden Augenblicke wegen der fortdauernden Einwirkung der bewegenden Kraft eine bedeutendere sein, und sie muß in beständigem Zunehmen bleiben, so lange der Körper fällt.

Es genügt uns aber nicht zu wissen, daß die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers in stetem Wachsen begriffen ist; wir fragen auch, wie groß dieselbe in jedem Zeitraum sei. Darüber sind die sorgfältigsten Untersuchungen angestellt worden, und diese haben ergeben, daß jeder fallende Körper, wenn der Widerstand der Luft hinweggedacht wird — welcher ohnehin bei einem möglichst dichten Körper von geringem Umfange wenig ausmacht — in der ersten Secunde (ungefähr) 15 Fuß fällt. In der zweiten Secunde fällt er 3 mal 15, in der dritten 5 mal 15, in der vierten 7 mal 15 u. s. f., so daß wir das Gesetz aussprechen können:

Die Fallräume in den auf einander folgenden Zeiten nehmen zu wie die ungeraden Zahlen.

Um die Frage zu beantworten, welchen Raum ein Körper in der siebenten Secunde seines Falles durchläuft, müssen wir also 15 Fuß durch die siebente ungerade Zahl (= 13) multipliciren; 13 . 15 = 195 Fuß.

Da die erste ungerade Zahl 1 gleich ist 1 mal 2 weniger 1,
— zweite — — 3 — 2 × 2 — 1,
— dritte — — 5 — 3 × 2 — 1,
— vierte — — 7 — 4 × 2 — 1,

u. s. w., so kann man den Fallraum in einer bestimmten Secunde am schnellsten finden, wenn man die Zahl der Secunden verdoppelt, und das um 1 verminderte Product mit 15 multiplicirt. Nach dieser Auffassung würde die Aufgabe: „Wieviel Fuß fällt ein Körper in der neunten Secunde?“ folgendergestalt berechnet werden:

$$(2 \,.\, 9 - 1) \times 15 = 17 \times 15 = 255'.$$

Fragen wir aber, wieviel Fuß ein Körper in einer bestimmten Anzahl von Secunden fällt, so ergiebt sich:

Digitized by Google

in 1 Secunde fällt er 1 . 15′;
— 2 Secunden — (1 + 3 =) 4 . 15′;
— 3 — — (1 + 3 + 5 =) 9 . 15′;
— 4 — — (1 + 3 + 5 + 7 =) 16 . 15′;
— 5 — — (1 + 3 + 5 + 7 + 9 =) 25 . 15′

u. ſ. w., oder kürzer:

in 1 Secunde fällt er 1 . 15′;
— 2 Secunden — 4 . 15′;
— 3 — — 9 . 15′;
— 4 — — 16 . 15′;
— 5 — — 25 . 15′ u. ſ. w.;

da aber 1 = 1 . 1, 4 = 2 . 2, 9 = 3 . 3, 16 = 4 . 4, 25 = 5 . 5 iſt, oder, wie man ſich in der Rechenkunſt ausdrückt, da

die Zahl 1 das Quadrat von der Zahl 1,
— 4 — — — 2,
— 9 — — — 3,
— 16 — — — 4,
— 25 — — — 5 u. ſ. w.

iſt, ſo ergiebt ſich das Geſetz:

Die ganzen Fallräume nehmen zu wie die Quadrate der Zeiten.

Wie hoch iſt demnach ein Thurm, von deſſen Gipfel ein Stein in 5 Secunden herabfällt? — Antwort: 5 . 5 . 15 = 375′.

Wie tief iſt eine Höhle, wenn man einen hinabfallenden Stein nach 3 Secunden aufſchlagen hört? — 3 . 3 . 15 = 135′, wobei jedoch zu berückſichtigen iſt, daß der Schall einige Zeit gebraucht, um aus der Tiefe an unſer Ohr zu gelangen.

§ 15. Die Bewegung ſenkrecht geworfener Körper.

Wird ein Körper ſenkrecht abwärts geworfen, ſo findet man die Räume, die er in beſtimmten Zeiten zurücklegt, indem man zu den vermöge der Schwerkraft zurückgelegten Räumen noch diejenigen addirt, welche er vermöge der Wurfkraft empfängt.

Digitized by Google

Würde der Körper z. B. mit einer Kraft geworfen, welche ihn in der Secunde durch 10 Fuß forttriebe, so fällt er

in der 1. Secunde $1 . 15 + 10 = 25'$;
— 2. — $3 . 15 + 10 = 55'$;
— 3. — $5 . 15 + 10 = 85'$ u. s. w.,

folglich:

in 2 Secunden $2 . 2 . 15 + 2 . 10 = 80'$;
— 3 — $3 . 3 . 15 + 3 . 10 = 165'$;
— 4 — $4 . 4 . 15 + 4 . 10 = 280'$.

Wird dagegen ein Körper senkrecht in die Höhe geworfen (oder geschossen), und läßt man den Widerstand der Luft unbeachtet, so wirkt die Anziehungskraft der Erde der Wurfkraft entgegen, und überwindet dieselbe bald völlig, so daß der Körper fallen muß.

Gesetzt er würde mit einer Kraft in die Höhe geworfen, welche ihm, wenn er sie allein wirkte, eine Geschwindigkeit von 150 (= 10 . 15) Fuß in der Secunde verliehe, so steigt er wegen der Gegenwirkung der Schwerkraft

in der 1. Secunde $10 . 15 - 1 . 15 = 9 . 15 = 135'$,
— 2. — $10 . 15 - 3 . 15 = 7 . 15 = 105'$,
— 3. — $10 . 15 - 5 . 15 = 5 . 15 = 85'$,
— 4. — $10 . 15 - 7 . 15 = 3 . 15 = 45'$,
— 5. — $10 . 15 - 9 . 15 = 1 . 15 = 15'$,

in Summe: $385'$.

Zu Anfang der sechsten Secunde fängt er an zu fallen, und da er nunmehr allein dem Gesetze der Schwere folgt, so fällt er

in der 1. Secunde $1 . 15 = 15'$,
— 2. — $3 . 15 = 45'$,
— 3. — $5 . 15 = 85'$,
— 4. — $7 . 15 = 105'$,
— 5. — $9 . 15 = 135'$,

in Summe $385'$.

Er fällt demnach eben so lange, als er gestiegen ist, hat an denselben Punkten des Weges im Aufsteigen und Herabfallen gleiche Geschwindigkeit,

Digitized by Google

und schlägt mit derselben Geschwindigkeit auf, mit welcher er aufzusteigen begann.

Wie hoch ist ein Körper gestiegen, der 8 Secunden ausblieb? — Antwort: So hoch, als er in der Hälfte dieser Zeit fällt, = 4 . 4 . 15 = 240′.

Da ein senkrecht aufsteigender Körper in jeder folgenden Secunde 30 Fuß weniger steigt, so steigt er überhaupt so viele Secunden, als 30 in der Anfangsgeschwindigkeit enthalten ist; ein mit einer Geschwindigkeit von 150′ aufsteigender Körper steigt also $^{150}/_{30}$ = 5 Secunden.

Wie hoch steigt demzufolge eine mit einer Geschwindigkeit von 600′ senkrecht abgeschossene Kugel?

Sie steigt $^{600}/_{30}$ = 20 Secunden, also so hoch, als sie in 20 Secunden fällt, d. i. 20 × 20 × 15 = 6000 Fuß.

Während die Bewegung eines frei fallenden Körpers eine stetig beschleunigte ist, ist die Bewegung eines senkrecht aufsteigenden Körpers eine stetig verzögerte.

§ 16. Die Bewegung wagrecht oder schräg geworfener Körper.

Wenn ein Körper wagrecht (horizontal) geworfen wird, so wirkt die Wurfkraft wagrecht, die Schwerkraft hingegen senkrecht. Der geworfene Körper kommt so weit in der Richtung des Wurfes fort, als folgte er der Wurfkraft allein, denn die senkrecht wirkende Schwerkraft kann die horizontale Geschwindigkeit weder erhöhen noch vermindern. Zugleich befindet er sich immer so viel tiefer unter der horizontalen Wurflinie, als er in dieser Zeit frei gefallen wäre; er nähert sich also der Erde so viel, als fiele er frei; er fällt in derselben Zeit zur Erde nieder, als wäre er frei gefallen, und sein Weg bildete eine krumme Linie, deren höchster Punkt derjenige ist, von welchem aus der Wurf geschah.

Eine genau wagrecht abgeschossene Kugel trifft daher nicht den Punkt, welcher in horizontaler Linie von ihrem Ausgangspunkte an liegt, sondern stets einen tieferen; sie wird um so

Digitized by Google

tiefer unter das Ziel treffen, je größer die Entfernung ist, da sie sich vom ersten Augenblicke ihres Fluges an senkt. Beträge die Weite des Zielpunktes 1500 Fuß, und die Kugel durchflöge diesen Raum genau in einer Secunde, so würde sie 15 Fuß unterhalb des Zieles einschlagen, vorausgesetzt, daß die Beschaffenheit des Bodens ein so tiefes Sinken zuließe.

Soll daher ein entfernter Punkt von einer Kugel getroffen werden, so muß man bedeutend höher zielen, als derselbe liegt. Die Kugel beschreibt dann in der Luft einen Bogen, indem sie zuerst weit höher steigt, als der zu treffende Punkt liegt, dann aber sich nach demselben hinabsenkt. Man kann sich dies an dem über ein Haus geworfenen Balle am leichtesten veranschaulichen. Der Winkel, welchen die Richtung des Geschützes mit der horizontalen Ebene bildet, heißt der **Elevationswinkel**. Die **Höhe des Wurfes** ist am beträchtlichsten, wenn der Elevationswinkel ein rechter ist; dagegen giebt ein Wurf unter einem Winkel von 45 Graden die größte **Wurfweite**.

§ 17. Die durch zwei gleichzeitig wirkende Kräfte hervorgerufene Kreisbewegung der Körper.

Hält man einen Ball an einem Faden fest, und giebt ihm mittelst der andern Hand einen kräftigen Schlag in wagrechter Richtung, so beschreibt er einen Kreis um seinen Aufhängepunkt.

Hier sind zwei Kräfte thätig, von denen die eine den Ball festhält (der Faden), während ihn die andere (der Stoß) nach der Seite treibt. Wie bei allen zusammengesetzten Bewegungen (§ 12) folgt der Körper keiner derselben ganz, und nimmt eine mittlere Richtung an, woraus in dem gegebenen Falle die kreisförmige Bewegung entsteht.

Lassen wir den Faden des im kreisförmigen Umschwunge befindlichen Balles plötzlich los, so folgt er nur noch der Kraft des Anstoßes, und fliegt in gerader Linie fort.

Die beiden Kräfte, welche in ihrem Vereine die Kreisbewegung hervorrufen, heißen die **Centralkräfte** (von **Centrum** = Mittelpunkt), und man nennt diejenige von ihnen, welche den

Digitized by Google

Körper nach dem Mittelpunkte des Kreises hinzieht, die Centripetalkraft (Ziehkraft), die andere aber, welche ihn von dem Mittelpunkte seitlich hinwegtreibt, die Tangential- oder auch unpassender die Centrifugalkraft (Flieh- oder Schwungkraft).*

Die Wirkung der beiden Centralkräfte ist es, welche die Monde zwingt, sich um die Hauptplaneten, diese aber, sich um die Sonne zu bewegen. Es unterliegt keinem Zweifel, daß viele Sonnen sich wiederum um eine gemeinschaftliche Kern- oder Centralsonne bewegen, und auch dazu werden keine anderen als die genannten Kräfte erforderlich sein.

Vergegenwärtigen wir uns noch einmal den oben besprochenen Versuch mit dem an einem Faden hängenden Balle! An dem Aufhängungspunkte, in welchem wir das freie Ende des Fadens halten, denken wir uns die Erde, der Ball aber möge den Mond vorstellen, welcher nach dem Gesetz der Schwere von der Erde angezogen wird.

Obschon die Wirkung der Anziehungskraft mit der Entfernung abnimmt, so daß der Mond 3600 mal so schwach von der Erde angezogen wird, als ein dieser nahe befindlicher Körper, so würde er dennoch längst auf die Erde gefallen sein, wenn er allein dem Gesetze der Schwere folgte. Nun aber treibt ihn zugleich die Schwungkraft, hindert ihn, sich der Erde

* Centripetalkraft bedeutet eine Kraft, welche den Körper nöthiget, sich dem Mittelpunkte zu nähern, ihn zu suchen; Centrifugalkraft bezeichnet eine Kraft, welche den Körper antreibt, sich vom Mittelpunkte zu entfernen, ihn zu fliehen. Wären wirklich zwei solche einander direct entgegen wirkende Kräfte thätig, so würde nimmermehr eine Kreisbahn entstehen; denn wenn sie gleich stark wären, so höben sie einander auf, und es entstände gar keine Bewegung; hätte die Centripetalkraft das Uebergewicht, so müßte der Körper nach dem Mittelpunkte fallen; wäre die Centrifugalkraft die stärkere, so flöge er vom Mittelpunkte hinweg. Daher heißt die zweite Kraft besser die Tangentialkraft, indem sie dem Körper das Bestreben mittheilt, in der Richtung einer Tangente (d. h. einer den Umfang des Kreises in einem Punkte berührenden geraden Linie) sich zu bewegen.

Digitized by Google

zu nähern, und zwingt ihn, wie wir bei dem Balle gesehen haben, zum fortwährenden Kreislaufe. Dasselbe gilt von der Bewegung der Planeten um die Sonne u. s. w. Woher stammt aber diese Schwungkraft? — oder mit andern Worten: Wer hat den Weltkörpern den ursprünglichen Anstoß gegeben, in Folge dessen sie, dem Beharrungsgesetze folgend, ohne Rast und Ruhe dahin fliegen müssen? — Wir wissen keine andere Antwort hierauf, als daß dieser Stoß eine ursprüngliche Wirkung der göttlichen Allmacht gewesen ist, die den Weltenbau gegründet hat.

Insofern die Schwerkraft den ganzen Weltbau in Ordnung hält, da jeder Weltkörper den andern anzieht, wird sie allgemeine Schwere oder Gravitation genannt. Je größer die Masse eines Weltkörpers ist, desto stärker ist seine Anziehungskraft; daher vermag der ungeheure Sonnenkörper alle Planeten mächtig anzuziehen.

Aus der Wirkung der Schwungkraft erklärt es sich, daß man einen vollen Korb oder ein zwischen vier Schnüre befestigtes Glas in einem senkrechten Kreise rasch umherschwingen kann, ohne daß Etwas von dem Inhalte verschüttet wird. Besonders interessant sind die sogenannte Centrifugalrutschbahnen, bei denen ein von einer bedeutenden Höhe herabgleitender Wagen sammt den darin befindlichen Personen die Peripherie eines aufrechtstehenden Kreises dergestalt durchläuft, daß die Menschen, wenn sie sich in dem oberen Theile desselben befinden, mit den Köpfen abwärts hängen, ohne herabzufallen, da die Wirkung der das Fahrzeug nach oben treibenden Schwungkraft stärker ist, als die Anziehungskraft der Erde.

Biegt ein Wagen sehr schnell um eine Ecke, so wird er durch die Schwungkraft umgeworfen; ein Schlitten schleudert nach der Außenseite der Biegung. Reiter auf Carousselpferden oder in kreisförmigen Reitbahnen biegen sich, um nicht herabgeschleudert zu werden, ganz nach innen. Wenn eine Eisenbahn eine bedeutende Krümmung (Curve) macht, so liegt die innere Schiene niedriger, als die äußere.

Digitized by Google

Auch bei der Bewegung der Erde um sich selbst (um ihre eigene Axe) sind die Centralkräfte thätig. An den beiden Polen ist die Schwungkraft gleich Null; am Aequator ist sie am stärksten. So lange daher die Erde noch ein luftförmiger oder flüssiger Körper war, mußte sie sich am Aequator stärker wölben; sie konnte keine vollkommene Kugel bleiben, sondern mußte sich an den Polen abplatten. Daher ist in der That der Durchmesser von Pol zu Pol kürzer, als der Durchmesser des Aequators, und die Erde ist keine Kugel (Sphäre), sondern ein kugelähnlicher Körper (ein Sphäroïd).

§ 18. Die Pendelschwingungen.

Schon im Anfange unserer Betrachtungen (§ 4) lernten wir das Loth kennen als einen an einem Faden aufgehängten schweren Körper, und sahen, daß es im Zustande der Ruhe stets die senkrechte Richtung anzeigte.

Drücken wir nun das an dem Faden befindliche Gewicht, welches z. B. eine Bleikugel sein mag, nach der Seite, und lassen es sodann los, so bewegt es sich abwärts, weil es von der Schwerkraft angezogen wird. Seine Bewegung ist dabei, wie bei einem fallenden Körper, eine gleichmäßig beschleunigte.

Hat es die senkrechte Richtung erlangt, so kann es nicht plötzlich in Ruhe gerathen, sondern es muß sich nach dem Beharrungsgesetze weiter fortbewegen, und, da es vom Faden gehalten wird, nach der andern Seite aufwärts steigen. Dieser Bewegung wirkt aber die Schwerkraft entgegen; daher erfolgt sie mit abnehmender Geschwindigkeit und hört endlich auf. Dabei ist das Gewicht nicht ganz so hoch gestiegen, als es gefallen war, weil es den Widerstand der Luft und die Reibung am Aufhängungspunkte zu überwinden hatte.

Nunmehr tritt wieder die Schwerkraft allein in Wirksamkeit, und bewegt das Gewicht abermals mit stetig zunehmender Geschwindigkeit in die senkrechte Richtung herab.

Dem Beharrungsgesetze folgend, steigt es auf der andern Seite wieder empor, jedoch wiederum etwas weniger hoch, und

Digitized by Google

so schwingt die Kugel fortwährend in einem immer kleiner werdenden Kreisbogen hin und her, bis endlich der Zustand der Ruhe — natürlich bei senkrechter Richtung — eintritt.

Die betrachtete Vorrichtung heißt ein Pendel, und seine hin und her gehenden Bewegungen heißen Pendelschwingungen. Die einmalige Bewegung längs des Schwingungsbogens ist jede einzelne Schwingung; die Dauer derselben heißt die Schwingungszeit.

Könnte man ein Pendel darstellen, welches gar kein Hinderniß zu überwinden hätte, so würde dasselbe, einmal in Schwingungen versetzt, dieselben ohne Aufhören fortsetzen, und man hätte eine Vorrichtnng, welche sich immerwährend bewegte, ein sogenanntes perpetuum mobile. Da aber keine Bewegung ohne Hindernisse bewirkt werden kann, so haben sich auch alle Versuche, ein solches perpetuum mobile darzustellen, als fruchtlos erweisen müssen.

Bei größerer Fallhöhe ist die Geschwindigkeit des Pendels bedeutender, als bei geringerer; daher wird das Pendel, um einen größeren Bogen zu beschreiben, nicht mehr Zeit gebrauchen, als zu einem kleineren, wenn der Unterschied der Bogenlängen nicht allzubedeutend ist. Daß sich dieses so verhalte, beobachtete zuerst Galilei an einem im Dome zu Pisa zufälliger Weise in Schwingungen versetzten Kronleuchter. Er fand somit das Gesetz;

Die einzelnen kleineren (10 Grad nicht übersteigenden) **Schwingungen eines und desselben Pendels erfordern stets gleiche Zeit.**

Verkürzt man das Pendel, so schwingt es schneller, und zwar macht es zweimal so viel Schwingungen, wenn es viermal so kurz gemacht wird, dreimal so viele, wenn es neunmal, viermal so viele, wenn es sechzehnmal so kurz ist u. s. w. Daraus folgt das zweite Gesetz:

Je kürzer das Pendel ist, desto schneller schwingt es, die Längen der Pendel verhalten sich wie die Quadrate der Schwingungszeiten.

Digitized by Google

Uebrigens ist die Dauer der Schwingungszeiten von dem Gewichte und der Masse des an dem Faden hängenden Körpers (der Linse) unabhängig. Ein Versuch zeigt, daß ein Pendel bei unveränderter Länge weder schneller noch langsamer schwingt, wenn man ihm abwechselnd eine Kugel von Blei, von Wachs, von Holz u. dgl. giebt.

Ein Pendel, welches zu jeder seiner Schwingungen eine Secunde Zeit braucht, heißt ein Secundenpendel. Ein solches muß bei uns 3 Fuß 2 Zoll lang sein. Diese Länge des Secundenpendels ist jedoch nicht für alle Punkte der Erde gleich; es muß am Aequator kürzer sein, als in der Nähe der Pole. Auch hieraus folgt, was wir am Schlusse des vorigen Paragraphen aus einem andern Grunde schlossen, daß die Erde an den Polen abgeplattet ist. Denn da der Einfluß der Schwerkraft auf das Pendel am Aequator schwächer ist — indem unser Secundenpendel dort zu langsam schwingt — so muß ein Punkt des Aequators von dem Mittelpunkte der Erde, als dem Sitze der Schwerkraft, weiter entfernt sein, als der Pol.

In der Musik gebraucht man das Pendel als Taktmesser. Bezeichnet z. B. der Componist eines Tonstückes die für dasselbe anzuwendende Geschwindigkeit (das Tempo) durch „♩ = 10 Zoll“, so verlangt er, daß den Viertelnoten die Dauer einer Schwingung eines Pendels von 10 Zoll Fadenlänge gegeben werden soll. Oder man bezeichnet das Tempo nach dem von Mälzel erfundenen Metronomen. Dies ist ein mit einem verschiebbaren Gewichte versehenes Pendel, welches in einer Minute so viel mal schwingt, als die Zahl anzeigt, auf welche man das Instrument stellte. „M. M. ♩ = 60“ zeigt demnach an, daß die Dauer der halben Noten der Dauer der Schwingungen des auf die Zahl 60 gestellten Pendels gleich sein sollen, d. h. daß jede eine Secunde dauern soll. Diese Bezeichnung ist also gleichbedeutend mit „♩ = 38 Zoll“.

Wie das Pendel den Gang der Gewichtsuhren regelt, werden wir später betrachten.

Digitized by Google

§ 19. Die Bewegungen der Körper mittelst des Stoßes.

Wir können hierbei nur einige Fälle betrachten, da die Mannigfaltigkeit derselben außerordentlich groß ist. Zunächst unterscheiden wir den Stoß *unelastischer* von dem Stoße *elastischer Körper*, obschon es wohl keinen völlig unelastischen, wie auch keinen völlig elastischen Körper geben mag.

Elastisch nennen wir einen Körper, dessen Gestalt durch einen Stoß verändert wird, sich aber sogleich von selbst wiederherstellt; *unelastisch* einen solchen, bei dem dies nicht der Fall ist.

In hohem Grade elastisch sind z. B. Kugeln von Kautschouk (gummi elasticum) und von Elfenbein; als unelastisch oder doch in sehr geringem Grade elastisch können wir Kugeln von Holz oder Stein betrachten.

Was den **Stoß unelastischer Körper** anlangt, so hängt die Kraft desselben (die Größe der Bewegung, § 11) von der *Masse* und *Geschwindigkeit* der Körper ab.

Bewegen sich nun zwei Körper von gleicher Masse mit gleicher Geschwindigkeit gegen einander, *so heben sich die Kräfte gegenseitig auf, und die Körper kommen nach dem Stoße beide in Ruhe.*

Ist die Masse gleich, die Geschwindigkeit aber ungleich, so besiegt der geschwindere Körper den andern; *beide bewegen sich nach dem Stoße in der Richtung des geschwinderen weiter, und zwar mit der Hälfte des Ueberschusses der größeren Geschwindigkeit über die kleinere.*

Bewegt sich z. B.

A mit 8′ Geschwindigkeit von Ost nach West,

B mit 4′ Geschwindigkeit von West nach Ost,

so raubt B dem A 4 Fuß von seiner Geschwindigkeit, die übrig bleibende Geschwindigkeit von 4′ aber vertheilt sich auf beide nunmehr nach W. rollende Körper, so daß sie noch eine Geschwindigkeit von 2′ haben.

Stößt ein *bewegter* Körper auf einen *ruhenden* von gleicher Masse, so *bewegen sich nach dem Stoße beide*

Digitized by Google

mit der halben Geschwindigkeit in der Richtung des stoßenden Körpers.

Interessant sind die Erscheinungen bei dem **Stoße elastischer Körper.** Um sich die wichtigsten derselben zu veranschaulichen, verschaffe man sich zwei gewöhnliche kleine Gummibälle von gleicher Größe und Schwere, binde an jeden derselben einen Faden, und knüpfe die freien Enden der Fäden an irgend ein wagrecht befestigtes Stäbchen, so daß die Bälle dicht neben einander hängen.

Nunmehr hebe man beide Bälle — so daß die Fäden gespannt bleiben — nach entgegen gesetzten Seiten gleich hoch, und lasse sie gleichzeitig los. Sie stoßen mit gleicher Geschwindigkeit an einander, und springen mit gleicher Geschwindigkeit zurück, ein jeder auf dem Wege, auf welchem er ankam.

Unelastische Körper würden in diesem Falle in Ruhe gekommen sein. Bei den elastischen aber drücken sich die Massen beider Körper gegenseitig zusammen, und indem sie sich wiederum ausdehnen, wird jeder durch die Ausdehnungskraft des andern zurückgeschleudert.

Stoßen aber die beiden elastischen Körper mit ungleichen Geschwindigkeiten auf einander, so springen sie mit verwechselten Geschwindigkeiten zurück.

Kommt z. B. A mit 6′ Geschwindigkeit von Osten her, B aber mit 8′ Geschwindigkeit von Westen her, so geht A mit der Geschwindigkeit von 8′ nach Osten, B mit der Geschwindigkeit von 6′ nach Westen zurück.

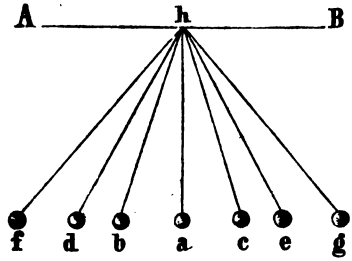
Hebt man nur die eine Kugel, und läßt sie los, während die andere ruhig hängt, so bleibt die stoßende Kugel stehen, die angestoßene aber geht mit der Geschwindigkeit der stoßenden fort.

Wir können diese an den elastischen Körpern wahrgenommenen Erscheinungen mit kurzen Worten in das Gesetz zusammenfassen:

Bei dem Stoße elastischer Körper von gleicher Masse tritt eine Vertauschung der Geschwindigkeiten ein.

Digitized by Google

Die Erscheinungen bei dem Stoße elastischer Körper sind besonders für das Billardspiel wichtig, und die oben angegebenen Versuche lassen sich auf einem Billard mit den elastischen elfenbeinernen Bällen bequem ausführen. Am Billard sieht man oft, daß ein Ball kräftig an die — in der Regel elastisch gepolsterte — Wand des Billardtisches angestoßen wird. Trifft der Ball die Wand, sie möge elastisch sein oder nicht, unter einem rechten Winkel, so läuft er in derselben Linie zurück, in welcher er sich vorwärts bewegte. Stößt er dagegen unter einem anderen Winkel an die Wand, so springt er von dieser unter einem gleichgroßen Winkel, aber in entgegengesetzter Richtung zurück.



Ist AB die Wand, so geht der von a nach h getriebene Körper in der Linie ha zurück. Erfolgt der Stoß in der Richtung bh, so läuft der Körper in der Linie hc zurück; bei dem Stoße in der Richtung dh, erfolgt der Rücklauf in he; der von f nach h gestoßene Körper läuft nach g zurück.

Demnach gilt das — in unsern Betrachtungen wiederkehrende — Gesetz:

Stößt ein bewegter elastischer Körper an eine Wand, so wird er von dieser unter einem gleichgroßen Winkel, aber in entgegengesetzter Richtung, zurückgeworfen.

§ 20. Die gemeine Krämerwage.

Jedermann kennt die gewöhnliche Wage, welche in jedem Kaufladen angewendet wird. An derselben nehmen wir vor

Digitized by Google

Allem einen stärker oder schwächer gearbeiteten, aus Messing, Stahl oder Eisen verfertigten Balken wahr, den Wagebalken. Genau in der Mitte seiner Länge, aber nahe seinem oberen Rande, hat er eine feste, stählerne Axe, welche nach unten zu in eine Schneide verjüngt ist, die in den runden Löchern (Pfannen) einer aus zwei Metallstäben gebildeten Scheere ruht. Am oberen Ende dieser Scheere befindet sich ein Ring, an welchem sie mit der Hand gehalten oder aufgehängt werden kann. Hängen wir nun die Scheere auf, so nimmt sie eine senkrechte Richtung an; der Wagebalken aber, der durch die Axe in zwei gleichlange und gleichschwere Arme getheilt wird, stellt sich genau wagrecht, da er sich nur in Ruhe befinden kann, wenn sein Schwerpunkt senkrecht unter dem durch die Axe gebildeten Aufhänge- oder Unterstützungspunkte liegt. Damit man genau zu erkennen vermöge, ob der Wagebalken auch wirklich wagrecht (horizontal) stehe, ist über seiner Axe ein Metallstäbchen, die Zunge, rechtwinkelig auf ihm befestiget. Steht diese Zunge genau inmitten der senkrechten Scheere, so hat der Wagebalken die wagrechte Stellung.

Nahe an jedem der beiden Endpunkte des Wagebalkens befindet sich eine runde, bei feinen Wagen nach oben schneidenförmig zugeschärfte Axe, an der ein Ring mit einem Haken hängt. An diese Haken können die an drei nach oben zusammenlaufenden Schnüren oder Metallketten hängenden Wagschalen befestigt werden.

Hängt man nun die eine Wagschale z. B. an den linken Arm des Wagebalkens an, so wird das Gewicht desselben vermehrt, der Balken dreht sich um seinen Unterstützungspunkt (die Axe), und der linke Arm sinkt, während der rechte steigt. Befestigt man hierauf an dem rechten Arme die zweite Wagschale, welche der ersten an Schwere durchaus gleich sein muß, so senkt sich dieser Arm, und indem er dem andern das Gleichgewicht hält, nimmt der Wagebalken wieder die horizontale Stellung an.

Dieselbe Erscheinung wiederholt sich, wenn man die eine Wagschale mit einem Gewichte belastet; das Gleichgewicht wird

Digitized by Google

erst wiederhergestellt, wenn in die zweite Wagschale ein eben so schwerer Körper gelegt wird.

Daraus folgt:

Die Wage ist im Gleichgewichte, wenn an den Endpunkten der beiden gleichlangen und gleichschweren Arme des Wagebalkens gleiche Gewichte hängen.

Je kleiner das Uebergewicht sein kann, welches einen Ausschlag der Zunge bewirkt, desto genauer, oder, wie man zu sagen pflegt, desto **empfindlicher** ist die Wage. Am empfindlichsten sind Wagen mit möglichst langen und doch leichten Armen, wenn ihr Schwerpunkt so nahe als möglich unter der Axe liegt.

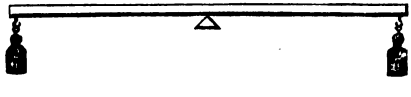
§ 21. Der zweiarmige Hebel.

Der Wagebalken (§ 20) ist **eine unbiegsame Stange, welche in einem Punkte unterstützt ist, und sich um denselben drehen läßt.**

Eine solche Vorrichtung heißt ein **Hebel**, und zwar ein **zweiarmiger**, wenn, wie dies bei dem Wagebalken der Fall ist, der Unterstützungspunkt zwischen den beiden Endpunkten liegt.

Liegt — wie wir dies wiederum am Wagebalken sehen — der Unterstützungspunkt genau in der Mitte zwischen den beiden Endpunkten, so daß die beiden Arme des Hebels genau von gleicher Länge sind, so ist der Hebel ein **zweiarmiger gleicharmiger**.

An dem Wagebalken sehen wir endlich, daß der zweiarmige gleicharmige Hebel die horizontale Stellung hat, oder, was dasselbe ist, daß er sich im **Gleichgewichte** befindet, wenn er entweder unbelastet ist, oder wenn an seinen beiden Endpunkten gleichschwere Gewichte hängen, wobei es gleichgültig ist, welche Länge die beiden gleichen Hebelsarme haben.



Digitized by Google

Statt, wie dies bei der Wage zu geschehen pflegt, die Gewichte an die Endpunkte der Hebelsarme zu hängen, könnten wir sie auch, falls der Hebel die erforderliche Breite hat, auf denselben stellen. Belasteten wir z. B. das Ende des einen Hebelsarmes mit einem Pfundgewichte, so wird er sich niedersenken; um den Hebel in das Gleichgewicht zu bringen, müssen wir auf das Ende des zweiten Hebelsarmes ebenfalls ein Pfundgewicht auffetzen.

Es wirken demnach an jedem Hebel zwei Kräfte, welche ihn nach entgegen gesetzten Richtungen zu drehen suchen. Die eine von diesen beiden Kräften ist in den meisten Fällen eine Last, welche emporgehoben werden soll; die zweite Kraft, welche diese Last heben soll, wird schlechtweg die Kraft genannt. Daher unterscheidet man einen Hebelsarm der Kraft und einen Hebelsarm der Last, und wir sprechen das Gesetz aus:

Der gleicharmige Hebel ist im Gleichgewichte, wenn die Kraft der Last gleich ist.

Soll mittelst des gleicharmigen Hebels die Last nicht bloß mit der Kraft im Gleichgewichte erhalten, sondern wirklich emporgehoben werden, so muß die Kraft größer sein, als die Last. Durch den gleicharmigen Hebel kann also keine Ersparniß an Kraft erzielt werden; er würde höchstens den Vortheil gewähren, daß die Kraft abwärts wirken könnte, wenn eine Last nach oben bewegt werden sollte.

Will man Kraft ersparen, so muß man einen ungleicharmigen Hebel anwenden, und die Last dem kürzeren Hebelsarme zu tragen geben.

Dies wissen die Kinder gar wohl, wenn sie sich auf einem über einen Baumstamm gelegten Brette schaukeln. Indem sie das längere Stück des Brettes dem leichteren Kinde zuschieben, ist dasselbe im Stande, seinem schwereren Spielgenossen das Gleichgewicht zu halten. — In gleicher Weise wenden Arbeiter, welche eine schwere Last in die Höhe bewegen sollen, den zweiarmigen ungleicharmigen Hebel an. Sie schieben einen Hebebaum unter die Last, und geben ihm so nahe als möglich an

Digitized by Google

derselben ein Klotz oder einen Stein zum Unterstützungs- und Umdrehungspunkte. Dadurch wird der Hebebaum zu einem zweiarmigen Hebel mit ungleichen Armen; der kürzere soll die Last emporbringen, an dem freien Ende des längeren aber faßt der Arbeiter an, und drückt ihn nieder. Je länger der Hebelsarm der Kraft im Vergleich zum Hebelsarme der Last ist, desto weniger Kraft gebraucht der Arbeiter, um die Last zu heben. — In derselben Art, wie der Hebebaum angewendet wird, gebraucht der Maurer sein Brecheisen, um Steine von abzubrechenden Mauern abzulösen. Der Gärtner bedient sich seines Spatens oder Grabscheites als eines Hebels mit zwei ungleichen Armen, wenn er eine Erdscholle, die er theilweise losgestochen hat, emporbringen will. Als Unterstützungspunkt dient der feste Boden, an welchen sich der Spaten anlehnt; die Last ist die Erdscholle, welche mit dem kürzeren, verbreiterten Theile des Werkzeuges gehoben werden soll; als Hebelsarm der Kraft wirkt der lange Stiel. Der Zolleinnehmer zieht den Schlagbaum, dessen schwererer aber kürzerer Arm auf dem Boden ruht, mit Leichtigkeit an dem die Straße überragenden langen Arme nieder. Ebenso verhält es sich mit einem ganz ähnlich eingerichteten Schwengelbrunnen. An den Pumpen ist der Hebelsarm, welchen der Pumpende anfaßt, bedeutend länger, als der nach innen gehende, an welchem die schwere Pumpenstange hängt.

4:4=1
1×4=4

Je länger bei dem Hebel mit zwei ungleichen Armen der Hebelsarm der Kraft im Verhältniß zum Hebelsarme der Last ist, desto mehr wird Kraft gespart.

Nicht immer hat der zweiarmige Hebel die Gestalt eines geraden Stabes; er kann auch gebogen sein, so daß seine beiden Arme einen Winkel zu einander bilden. Solche Winkelhebel sehen wir z. B. an den Klingelzügen. Der Umdrehungspunkt wird bei ihnen durch eine in dem Winkelpunkte angebrachte Axe dargestellt. Zieht man nun den wagrechten Arm mittelst der Klingelschnur nach unten, so wird der senkrechte Arm genöthiget, sich rückwärts zu bewegen, und der an ihm befestigte Drath

Digitized by Google

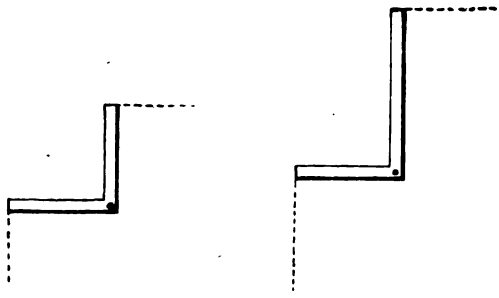


Fig. a. Fig. b.

setzt die Klingel in Bewegung. Auch in den Orgeln finden solche Winkelhebel häufige Anwendung. Ebenso bildet die Thürklinke einen Winkelhebel. Sind die Arme gleichlang (Fig. a), so gilt für die Winkelhebel das Gesetz des gleicharmigen Hebels, d. h. es wird keine Kraft erspart; ist der Arm, an welchem die Kraft wirkt, der längere, so wird Kraft gewonnen (Fig. b).

Bei Scheeren und Zangen sehen wir zwei ungleicharmige Hebel mit einander verbunden, deren gemeinschaftlicher Unterstützungspunkt in der Niete liegt. Soll Kraft gespart werden, so müssen die Handgriffe länger sein, als die schneidenden oder anfassenden Theile. Daher hat die Blechscheere des Klempners sehr lange Handgriffe und kurze Messer. Wenn man mit einer Zange einen feststeckenden Nagel herausziehen will, so gebraucht man sie zunächst als zweiarmigen (doppelten) Hebel, dessen Unterstützungspunkt die Niete ist, um die kürzeren Arme mit bedeutend verstärkter Kraft unter den festsitzenden Kopf des Nagels zu zwängen. Hat man diesen gefaßt, so wird die Zange wie ein einfacher ungleicharmiger Hebel angewendet, indem man sie niederbeugt, und mit einem Punkte ihrer kürzeren Arme, der nun zum Unterstützungspunkte wird, an das Holz drückt, aus welchem der Nagel gezogen werden soll. — In ähnlicher Weise verfährt man, wenn man mittelst eines Hammers einen Nagel auszieht.

Es genügt uns jedoch nicht zu wissen, daß bei der Anwendung des Hebels mit zwei ungleichen Armen, wenn die Kraft an dem längeren derselben wirkt, überhaupt Kraft gewonnen

Digitized by Google

derselben ein Klotz oder einen Stein zum Unterstützungs- und Umdrehungspunkte. Dadurch wird der Hebebaum zu einem zweiarmigen Hebel mit ungleichen Armen; der kürzere soll die Last emporbringen, an dem freien Ende des längeren aber faßt der Arbeiter an, und drückt ihn nieder. Je länger der Hebelsarm der Kraft im Vergleich zum Hebelsarme der Last ist, desto weniger Kraft gebraucht der Arbeiter, um die Last zu heben. — In derselben Art, wie der Hebebaum angewendet wird, gebraucht der Maurer sein Brecheisen, um Steine von abzubrechenden Mauern abzulösen. Der Gärtner bedient sich seines Spatens oder Grabscheites als eines Hebels mit zwei ungleichen Armen, wenn er eine Erdscholle, die er theilweise losgestochen hat, emporbringen will. Als Unterstützungspunkt dient der feste Boden, an welchen sich der Spaten anlehnt; die Last ist die Erdscholle, welche mit dem kürzeren, verbreiterten Theile des Werkzeuges gehoben werden soll; als Hebelsarm der Kraft wirkt der lange Stiel. Der Zolleinnehmer zieht den Schlagbaum, dessen schwererer aber kürzerer Arm auf dem Boden ruht, mit Leichtigkeit an dem die Straße überragenden langen Arme nieder. Ebenso verhält es sich mit einem ganz ähnlich eingerichteten Schwengelbrunnen. An den Pumpen ist der Hebelsarm, welchen der Pumpende anfaßt, bedeutend länger, als der nach innen gehende, an welchem die schwere Pumpenstange hängt.

4:4=1
1×4=4

Je länger bei dem Hebel mit zwei ungleichen Armen der Hebelsarm der Kraft im Verhältniß zum Hebelsarme der Last ist, desto mehr wird Kraft gespart.

Nicht immer hat der zweiarmige Hebel die Gestalt eines geraden Stabes; er kann auch gebogen sein, so daß seine beiden Arme einen Winkel zu einander bilden. Solche Winkelhebel sehen wir z. B. an den Klingelzügen. Der Umdrehungspunkt wird bei ihnen durch eine in dem Winkelpunkte angebrachte Axe dargestellt. Zieht man nun den wagrechten Arm mittelst der Klingelschnur nach unten, so wird der senkrechte Arm genöthiget, sich rückwärts zu bewegen, und der an ihm befestigte Drath

Digitized by Google

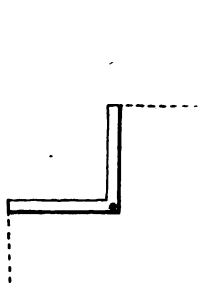


Fig. a.

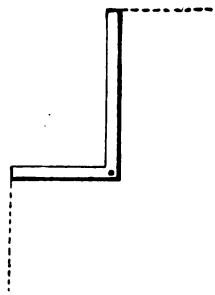


Fig. b.

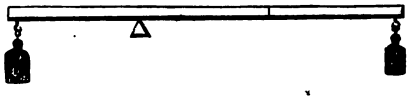
setzt die Klingel in Bewegung. Auch in den Orgeln finden solche Winkelhebel häufige Anwendung. Ebenso bildet die Thürklinke einen Winkelhebel. Sind die Arme gleichlang (Fig. a), so gilt für die Winkelhebel das Gesetz des gleicharmigen Hebels, d. h. es wird keine Kraft erspart; ist der Arm, an welchem die Kraft wirkt, der längere, so wird Kraft gewonnen (Fig. b).

Bei Scheeren und Zangen sehen wir zwei ungleicharmige Hebel mit einander verbunden, deren gemeinschaftlicher Unterstützungspunkt in der Niete liegt. Soll Kraft gespart werden, so müssen die Handgriffe länger sein, als die schneidenden oder anfassenden Theile. Daher hat die Blechscheere des Klempners sehr lange Handgriffe und kurze Messer. Wenn man mit einer Zange einen feststeckenden Nagel herausziehen will, so gebraucht man sie zunächst als zweiarmigen (doppelten) Hebel, dessen Unterstützungspunkt die Niete ist, um die kürzeren Arme mit bedeutend verstärkter Kraft unter den festsitzenden Kopf des Nagels zu zwängen. Hat man diesen gefaßt, so wird die Zange wie ein einfacher ungleicharmiger Hebel angewendet, indem man sie niederbeugt, und mit einem Punkte ihrer kürzeren Arme, der nun zum Unterstützungspunkte wird, an das Holz drückt, aus welchem der Nagel gezogen werden soll. — In ähnlicher Weise verfährt man, wenn man mittelst eines Hammers einen Nagel auszieht.

Es genügt uns jedoch nicht zu wissen, daß bei der Anwendung des Hebels mit zwei ungleichen Armen, wenn die Kraft an dem längeren derselben wirkt, überhaupt Kraft gewonnen

Digitized by Google

wird; wir wollen auch die Größe dieses Gewinnes kennen. Zu diesem Behufe geben wir einem Hebel, z. B. einem Lineale, seinen Unterstützungspunkt dergestalt, daß der eine Arm gerade doppelt so lang wird, als der andere. Legen wir nun an das Ende des kürzeren Armes ein Gewicht von 2 Pfund, so finden wir, daß an dem Ende des längeren Armes schon ein Pfund genügt, um das Gleichgewicht herzustellen. Somit hält eine Kraft an einem doppelt so langen Arme einer doppelt so großen Last das Gleichgewicht. Machen wir den Hebelsarm der Kraft dreimal so lang, als den Hebelsarm der Last, so hält ein Pfund an jenem drei Pfunden an diesem das Gleichgewicht. Wäre der Hebelsarm der Kraft hundertmal so lang, als der Hebelsarm der Last, so würde ein Pfund einem Zentner das Gleichgewicht halten.



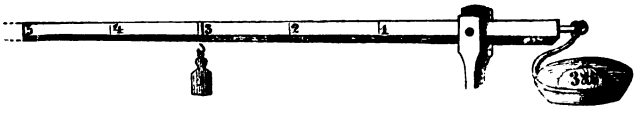
Wenn die Länge des kürzeren Armes einen Theil, das daran hängende Gewicht aber 100 Pfund beträgt, so ist das Product aus der Armlänge und dem Gewichte $1 \times 100 = 100$ Pfund; das Product aus der hundert solche Theile betragenden Länge des anderen Armes und dem daran hängenden Gewichte von 1 Pfund beträgt $100 \times 1 = 100$ Pfund. Diese Producte heißen in der wissenschaftlichen Ausdrucksweise die statischen Momente, und das Hebelgesetz lautet:

Der Hebel ist im Gleichgewichte, wenn die statischen Momente gleich sind.

Dieses Gesetz gilt von dem gleicharmigen, wie von dem ungleicharmigen Hebel, so wie von dem weiterhin zu betrachtenden einarmigen — überhaupt von allen Hebeln.

Der ungleicharmige Hebel dient im Handelsverkehr als Schnellwage. Der kürzere Hebelsarm einschließlich der an ihm hängenden leeren Schale ist genau so schwer, als der unbelastete längere Arm. Letzterer ist gewöhnlich in 10 gleiche Theile getheilt, deren jeder so lang ist, als der kurze Arm. Ein Gewicht, der Laufer genannt, läßt sich an dem langen Arme

Digitized by Google



hin und her schieben. Legt man nun in die Wagschale eine Last, so schiebt man den Laufer bis zu dem Punkte, an welchem er das Gleichgewicht herstellt. Wäre z. B. der Laufer ein Pfundgewicht, und man müßte ihn um acht Theile von dem Umdrehungspunkte entfernen, um das Gleichgewicht herzustellen, so wäre die Last 8 Pfund schwer; überhaupt giebt die Zahl des Theilungsstriches stets an, das Wievielfache vom Gewichte des Laufers die Last wiegt.

§ 22. Der mechanische Vor- und Nachtheil bei dem Gebrauche des Hebels.

Je länger bei dem Hebel mit zwei ungleichen Armen derjenige Arm, an welchem die Kraft wirkt, im Vergleiche zu dem Hebelsarme der Last ist, desto weniger Kraft wird zur Hebung der Last erfordert. Wir vermögen also mittelst des ungleicharmigen Hebels eine große Last mit geringem Kraftaufwande zu heben. Verhalten sich z. B. die Längen der Hebelsarme wie 1 : 100, so hebt ein Pfundgewicht, welches am längeren Arme wirkt, ein am kürzeren Arme hängendes Centnergewicht bis zum Gleichgewichte empor, der Kraftgewinn ist also sehr bedeutend.

Aber — wenn der hoch in die Luft emporragende längere Hebelsarm so weit herabbewegt werden soll, daß die wagrechte Stellung des Hebels herbeigeführt wird, so muß er einen hundertmal so großen Weg herabsinken, als derjenige beträgt, um welchen die Last gehoben wird. Höbe sich z. B. die Last um einen Zoll, so müßte die Kraft einen Weg von 100 Zoll abwärts durchlaufen.

Mit dem mechanischen Vortheil ist daher jederzeit ein eben so großer mechanischer Nachtheil verbunden, und es offenbart sich das unabänderliche Gesetz:

Digitized by Google

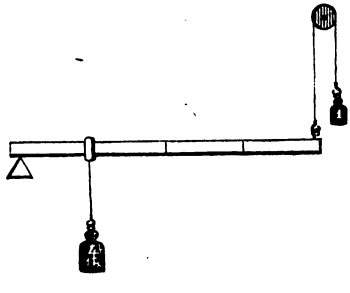
Was durch einen Hebel an Kraft gewonnen wird, geht an Zeit (am Wege) verloren.

Da eine allzugroße Länge des von der Kraft zu durchlaufenden Weges in den meisten Fällen unbequemer ist, als ein etwas größerer Kraftaufwand, so pflegt man den Hebelsarm der Kraft nicht länger zu machen, als er leicht zu handhaben ist. Würde man z. B. bei einer gewöhnlichen Handscheere die Theile von der Niete bis zu den Ringen zu lang machen, so würde man die Scheere nicht mehr mittelst des Daumens und Zeigefingers regieren können. Wäre bei einem Pumpenschwengel der Hebelsarm der Kraft allzulang, so würde sich sein freies Ende so hoch heben, daß die Arbeit nur unbequem und langsam auszuführen wäre.

§ 23. Der einarmige Hebel.

Hat ein Hebel seinen Unterstützungspunkt *an einem seiner Endpunkte*, während sich das freie Ende auf- und niederbewegen läßt, so heißt er ein *einarmiger*.

Eine solche Vorrichtung ist das bekannte *Siede-* oder *Häckselschneidemesser*, mittelst dessen die Landleute das Stroh zum Futter schneiden. Die große, scharfe Klinge ist an einem Ende mittelst eines Bolzens befestiget, um welchen sie sich dreht, wenn man das andere Ende hebt und senkt. Die zu überwindende Last ist die Lage Stroh, welche durchschnitten werden soll. Je näher dieselbe dem Unterstützungspunkte liegt, desto geringeren Druck hat die Hand am anderen Ende des Messers auszuüben.



Auch hier gilt dasselbe Gesetz, wie bei dem Hebel mit zwei ungleichen Armen, und wir können uns den einarmigen Hebel als einen zweiarmigen vorstellen, indem die ganze Hebellänge den Hebelsarm der Kraft, die Entfernung der Last vom

Digitized by Google

Unterstützungspunkte aber den Hebelsarm der Last vorstellt. Ist z. B. der einarmige Hebel 4 Fuß lang, und es hängt in der Entfernung eines Fußes vom Unterstützungspunkte ein Gewicht von 4 Pfund, so genügt eine an dem freien Ende des Hebels wirkende Kraft von 1 Pfund zur Herstellung des Gleichgewichts.

Natürlich müssen Kraft und Last bei dem einarmigen Hebel in entgegengesetzter Richtung wirken; zieht also die Last nach unten, so muß die Kraft nach oben wirken.

Der oben erwähnten Siedeschneide ganz ähnlich eingerichtet sind die Tabacks- und Zuckerschneidemesser. Auch bei ihnen wird desto weniger Kraft gebraucht, je näher der zu durchschneidende Körper dem Unterstützungspunkte liegt. — Eine andere, ebenfalls ganz mit den vorigen übereinstimmende Vorrichtung ist die bekannte Flachsbreche. — Die Schubkarre oder Radber (Radbahre) ist, ungeachtet sie zwei Handhaben hat, doch ein einarmiger Hebel, dessen Unterstützungspunkt in der Axe des Rades liegt. Die aufgeladene Last drückt nach unten, die Kraft wirkt aufwärts an den Handhaben. Je näher die Last dem Rade liegt, desto leichter ist sie zu heben, — allerdings dreht sich aber auch das Rad um so schwerer. Je länger die Handhaben wären, um so leichter höbe man die Last; um so höher müßte man aber auch die Handhaben heben. Auch hier muß also der mechanische Vor- und Nachtheil gegen einander abgewogen werden, um dem Geräthe die bequemste Einrichtung zu geben. — Wenn zwei Personen eine Last tragen, welche an einem wagrechten Stabe hängt oder auf einer Trage liegt, so ist der einarmige Hebel an seinen beiden Enden durch die Kraft der Träger unterstützt. Man kann in diesem Falle nach Belieben den einen oder den andern Endpunkt als den Umdrehungspunkt des Hebels ansehen. Befindet sich die Last genau in der Mitte des Stabes oder der Trage, so hat jeder Träger die Hälfte zu tragen. Wird sie aber dem einen von ihnen näher geschoben, so muß dieser eine größere Kraft aufwenden, als der andere. Wäre z. B. der Stab 4 Fuß lang, und die Last befände sich einen Fuß vom ersten,

Digitized by Google

mithin drei Fuß vom zweiten Träger entfernt, so betrüge für den letzteren die Länge des Hebelarmes der Last nur den vierten Theil von dem Hebelsarme der Kraft, d. h. von dem ganzen Hebel, und er hätte nur $^1/_4$ der Last zu tragen, während der erste, für den der Hebelsarm der Last $^3/_4$ von der ganzen Hebellänge betrüge, auch $^3/_4$ der Last tragen müßte. Wenn daher zwei Personen von ungleicher Stärke eine Last in der angedeuteten Weise an einem Stabe oder auf einer Trage fortschaffen, so muß die Last dem stärksten am nächsten liegen. — Will man einen Stein oder Baumstamm mittelst eines Hebebaumes fortrücken, so schiebt man diesen mit einem seiner Enden unter den zu bewegenden Körper, und hebt das andere Ende in die Höhe. Der Hebebaum wirkt nun als einarmiger Hebel, dessen Unterstützungspunkt der Erdboden bildet; die Last drückt an dem unter ihr steckenden kurzen Theile des Hebels nach unten, die Kraft wirkt mit der ganzen Hebellänge nach oben. — Auch ein Schlüssel ist ein einarmiger Hebel. Der Bart ist der Hebelsarm der Last, die Kraft wirkt nach der entgegengesetzten Seite am Griffe. Diese beiden Angriffspunkte sind durch den Stab des Schlüssels mehr oder weniger weit auseinander gerückt; aber diese Entfernung thut dem Hebelgesetze keinen Eintrag, es kommt vielmehr nur auf den Unterschied zwischen der Breite des Bartes und der halben Länge des Griffes an. Ist der Griff z. B. sechsmal so lang als der Bart breit ist, so wird die Kraft, die an jenem wirkt, verdreifacht. Ist der Riegel des Schlosses eingerostet, so daß er mittelst des Griffes sich nicht bewegen läßt, so verlängert man diesen durch einen hineingesteckten Stab. — Aehnliche Verhältnisse walten bei dem Bohrer ob. Je größer die Last ist, welche derselbe zu überwinden hat, desto länger macht man seinen Handgriff, so daß oft mehrere Personen zugleich an demselben arbeiten. Auch Stimmhämmer, Schraubenzieher und diesen verwandte Werkzeuge wirken als einarmige Hebel.

Nicht immer aber beabsichtiget man mittelst des einarmigen Hebels eine Krafterspariß; in vielen Fällen ist Kraft im

Digitized by Google

Ueberschusse vorhanden, und man will mittelst derselben eine größere Geschwindigkeit, also einen Gewinn an Zeit erzielen.

In dieser Weise wirken Federn, Bleistifte und Pinsel beim Schreiben, Zeichnen und Malen. Bei denselben kommt die Verlängerung über die Hand hinaus nicht in Betracht, indem diese nur für die sichere Lage von Wichtigkeit ist. Sie haben ihren Unterstützungspunkt da, wo man sie mit dem Daumen und dritten Finger festhält. Die zu überwindende Last haben wir uns an der schreibenden oder zeichnenden Spitze zu denken, und es gilt, dieser Spitze eine möglichst rasche Bewegung zu ertheilen. Diese wird bei einem Abstriche durch den Zeigefinger bewirkt, welcher auf den kürzeren Theil des Hebels drückt, daher mehr Kraft braucht, als wenn er näher an der Spitze läge, aber schon durch einen geringen Druck die Spitze soweit als nöthig bewegt. Der Druck für den Aufstrich erfolgt durch den Daumen und dritten Finger in ähnlicher Weise.

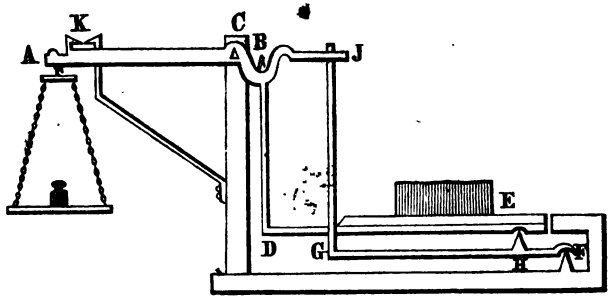
Auch der Tritt an einem Spinnrädchen ist ein einarmiger Hebel, bei welchem an Zeit gewonnen wird, was an Kraft verloren geht. Der Unterstützungspunkt liegt hinter der Ferse des tretenden Fußes; die Last ist das mittelst einer Kurbel zu bewegende Schwungrad. Der sogenannte Gaukelmann, welcher die Kurbel umdreht, ist an dem Endpunkte des Trittes befestiget; die tretende Fußspitze wirkt demnach an einem kürzeren Theile des Trittes, und es wird durch einen geringen Druck derselben, zu welchem Kraft genug vorhanden ist, eine rasche Bewegung des Rades bewirkt.

Am menschlichen Arme findet auch die Einrichtung statt, daß die Kraft nahe am Unterstützungspunkte wirkt, so daß sie im großen Maaße verwendet wird, um eine möglichst schnelle Bewegung hervorzubringen. Ein Muskel sitzt nämlich mit einem Ende am Schulterblatte, mit dem andern am Oberarme fest, und hält diesen, wenn er wagrecht ausgestreckt ist. Nehmen wir die Entfernung dieses Anheftungspunktes von dem am Schulterblatte befindlichen Umdrehungspunkte gleich 1, so ist die Ent-

Digitized by Google

fernung des äußersten Theiles der Hand = $33\frac{1}{3}$. Läge hier ein Pfund, so müßte der Muskel $33\frac{1}{3}$ Pfund Kraft aufwenden, um es zu balanciren. Dennoch ist diese Einrichtung sehr zweckmäßig, denn eine geringe Zusammenziehung des Muskels bewirkt schon eine bedeutende Bewegung des Armes. Wäre der Muskel weiter nach vorn befestiget, so würde er eine geringere Kraft bedürfen, aber er würde bei jeder Bewegung dick anschwellen müssen.

§ 24. Die Brückenwage.



Zum Abwägen großer Lasten benutzt man die **Brückenwage**, die man fast in allen Kaufläden findet. Sie ist insbesondere unentbehrlich zur Bestimmung des Gewichtes ganzer (leerer oder beladener) Lastwagen. Wir betrachten nun mit Hülfe der Figur die sinnreiche Einrichtung derselben, welche ganz auf den Hebelgesetzen beruht.

A B ist der starke eiserne Wagebalken, ein ungleicharmiger Hebel, der in C seinen Unterstützungspunkt hat. Der Arm **AC**, an welchem die Schale mit dem Gewichte hängt, ist zehnmal so lang, als der Arm CB. Nach dem bekannten Hebelgesetze muß eine an den Punkt B gehängte Last zehnmal so schwer sein, als das in der an A hängenden Schale liegende Gewicht, wenn der Wagebalken AB im Gleichgewichte sein soll.

Nun wird aber die Last nicht unmittelbar an B gehängt, sondern von B geht die erste Zugstange BD herab, und an dem

Digitized by Google

Punkte D ist die Brücke DE befestigt, eine Platte, auf welche die Last gelegt wird, oder auf welche der zu wägende Lastwagen aufgefahren wird.

Wäre die Brücke in dem Endpunkte E nicht unterstützt, so würde die auf ihr ruhende Last ihre volle Wirkung auf den Punkt B ausüben, und einem $^1/_{10}$ mal so schweren Gewichte in der Wagschale das Gleichgewicht halten, — aber die Brücke würde bei schwerer Belastung brechen.

Nun wird aber die Brücke in ihrem Endpunkte E von einer Schneide unterstützt, welche auf dem einarmigen Hebel FG ruht; es wirkt daher nur ein Theil der Last mittelst der Zugstange DB bei B auf den Wagebalken, der andere Theil aber wird von der Schneide bei E getragen, und drückt auf den einarmigen Hebel FG.

Welchen Druck hierbei der Punkt G erleidet, lehrt uns das Hebelgesetz: es ist der sovielte Theil des ganzen auf der Schneide bei E ruhenden Gewichts, als FH von FG ist. Wenn also FH ein Drittel von FG ist, so trägt der Punkt G nur ein Drittel des von E aus auf den unteren Hebel FG übertragenen Druckes.

Mittelst der zweiten Zugstange GJ wird der auf G lastende Druck auf den Wagenbalken AB fortgepflanzt, welcher deshalb bis nach J verlängert ist. Diese Verlängerung des Wagebalkens muß nun in genauer Uebereinstimmung stehen mit den Verhältnissen des Hebels FG, d. h. das Sovielfache FG von FH ist, das Ebensovielfache muß CJ von CB sein. Wäre also, wie wir angenommen haben, FG das Dreifache von FH, so muß auch CJ das Dreifache von CB sein; denn in diesem Falle wirkt die Kraft, mit welcher der Punkt G niedergedrückt wird, mittelst der zweiten Zugstange GJ an einem dreimal so langen Hebelsarme, als der der ersten Zugstange ist, übt also eine dreimal so große Kraft aus. Die Wirkung ist mithin dieselbe, als ob an dem Punkte B das volle Gewicht des von dem Hebel FG übernommenen Theiles der Last angehängt wäre, so daß der Hebelsarm CB mit dem ganzen Gewichte der auf der Brücke liegenden Last niedergezogen wird.

Digitized by Google

Machen wir uns den etwas verwickelten Vorgang durch Annahme bestimmter Zahlen noch klarer. Die Last auf der Brücke möge 100 Pfund wiegen. Trägt die Schneide E 30 davon, so wirkt die erste Zugstange mit einer Kraft von 70 Pfund auf den Wagebalken bei B, und 7 Pfund in der Gewichtsschale würden ihr das Gleichgewicht halten. Die 30 Pfund, welche bei H auf dem untersten Hebel FG lasten, drücken den Punkt G mit 10 Pfund Kraft nieder. Da aber der Punkt J, an welchem die zweite Zugstange anfaßt, dreimal so weit von C liegt, als B, so wird durch den dreimal so langen Hebelsarm auch die Kraft verdreifacht; die zweite Zugstange wirkt also mit den richtigen 30 Pfunden auf den rechten Arm des Wagebalkens ein, so daß dieser volle 100 Pfund zu tragen hat, denen 10 Pfund in der Gewichtsschale das Gleichgewicht halten.

Läge die Last auf der Brücke der Schneide E so nahe, daß dieselbe 60 Pfund zu tragen hätte, so wirkten in B nur 40 Pfund, in G 20, in J aber [illegible] so daß auch in diesem Falle der Hebelsarm CB 100 Pfund zu tragen hätte. Die Last mag also auf der Brücke liegen, wo sie wolle, immer wirkt sie vollständig auf den Wagebalken.

Wäre das Verhältniß zwischen FH und FG ein anderes, wäre z. B. FG fünfmal so lang als FH, so müßte auch CJ fünfmal so lang gemacht werden, als CB. Wird G nur mit $^1/_5$ des auf den Punkt H drückenden Theiles der Last niedergedrückt, so wird dies Fünftel im Punkte J verfünffacht, [illegible] zum Ganzen erhoben, und so in jedem andern Falle.

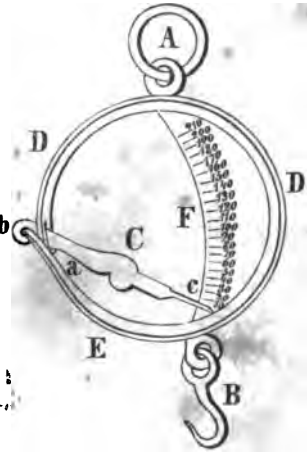
Ob der Wagebalken genau wagrecht stehe, sieht man daraus, ob die auf ihm befestigte Spitze einer an dem Gestell befestigten Spitze (bei K) genau gleichsteht.

Große Brückenwagen findet man gewöhnlich bei Eisenbahnen, Runkelzuckerfabriken u. s. w. Bei letzteren fährt der mit Zuckerrüben beladene Wagen auf die Brücke, und wird gewogen. Nachdem die Rüben abgeladen sind, wird der zurückkehrende leere Wagen abermals gewogen; aus dem Gewichtsunterschiede ergiebt sich das Gewicht der auf dem Wagen befindlich gewesenen Rüben.

Digitized by Google

[§ 25. Die Ziehwage.]

Da wir uns mit verschiedenen Arten von Wagen bekannt gemacht haben, so schließen wir noch eine Betrachtung der Ziehwage an, welche von Landleuten häufig zum Abwägen von Stroh, Heu u. dgl. benutzt wird, obwohl sie noch weniger als die Brückenwage genaue Resultate giebt. Sie beruht nicht auf dem Hebelgesetze, und möge nur wegen ihres ähnlichen Zweckes hier erwähnt werden.



Die ganze Vorrichtung ist aus Stahl und Eisen. A ist ein Ring, an welchem die Wage aufgehängt wird; an den Haken B hängt man die Last. DE ist ein elastischer Bügel. F ist eine Scala, welche die Zahl der Pfunde angiebt, welche durch den Zeiger C gezeigt werden. Dieser ist an seinem Endpunkte b mittelst einer Niete an dem unteren Theile des Bügels DE beweglich befestiget, geht durch den oberen Theil desselben hindurch und liegt bei a auf. Zieht nun die Last den mit E bezeichneten Theil des Bügels sammt dem an diesem befestigten Zeiger C abwärts; so hebt sich dessen Spitze c, und zwar um so mehr, je schwerer die Last ist.

§ 26. Die feste Rolle.

Wenn Maurer auf einem hohen Gerüste arbeiten, so macht es ihnen Beschwerde, die mit Kalk u. dgl. gefüllten Gefäße in die Höhe zu bekommen. Dieselben auf Leitern hinaufzutragen, ist unbequem und gefährlich. Wollte der oben stehende Maurer das schwere Gefäß mittelst eines Strickes zu sich hinaufziehen, so würde er sich überbeugen müssen, und könnte leicht herab-

Digitized by Google

stürzen. Um diese Uebelstände zu beseitigen, befestigt man oben an dem Gerüste eine Rolle. Dies ist eine kreisförmige Scheibe von Holz oder Metall, welche an ihrem Umfange behufs der Aufnahme einer Schnur rinnenförmig vertieft ist. Durch den Mittelpunkt der Scheibe geht eine Axe, deren Enden von einer Scheere getragen werden, so daß, wenn letztere in das Gerüst fest eingeschraubt ist, die Rolle sich um ihre Axe drehen kann. Nun wird ein Strick über die Rolle gelegt, so daß seine beiden Enden auf den Boden herabreichen. An das eine Ende wird die Last befestigt; an dem andern Ende zieht ein unten stehender Arbeiter abwärts, und bewirkt dadurch das Aufsteigen derselben.

Wöge die Last 50 Pfund, so würden, um ihr das Gleichgewicht zu halten, an das zweite Ende des Strickes ebenfalls 50 Pfund angehängt werden müssen. Soviel Kraft braucht der Arbeiter, um die Last zu halten. Soll er sie in die Höhe bewegen, so muß er natürlich mehr Kraft anwenden, und zwar bedeutend mehr, da die Reibung der Axe an der Scheere, so wie die Reibung des Strickes an der Rolle und die Steifigkeit desselben der Bewegung hindernd entgegen treten.

Eine Rolle von der beschriebenen Art, bei welcher die Scheere befestigt ist, so daß die Rolle keine andere Bewegung hat, als um ihre Axe, heißt eine feste Rolle. Bei ihr wird keine Kraft gespart, denn:

Die feste Rolle ist im Gleichgewichte, wenn Kraft und Last einander gleich sind.

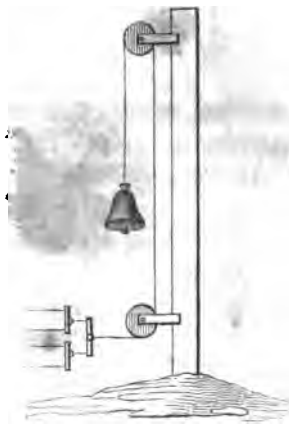
Wir finden also an ihr das Gesetz für den Hebel mit zwei gleichen Armen in Gültigkeit, und in der That sind die eigentlichen Angriffspunkte der Kraft und Last die beiden Endpunkte

Digitized by Google

eines Durchmessers der Rolle, denn dieser stellt einen gleicharmigen Hebel dar, dessen Unterstützungspunkt die Axe ist.

Der wesentliche Nutzen einer festen Rolle besteht, wie wir gesehen haben, darin, daß man mittelst derselben die Richtung einer Bewegung verändern kann. Man wendet sie, wie uns das obige Beispiel zeigte, an, um eine Last in die Höhe zu bringen, während die Arbeiter von oben nach unten ziehen, in welcher Richtung die menschliche Kraft am stärksten zu wirken vermag. Daher gebraucht man sie bei der Rammmaschine, mit welcher man Pfähle in den Boden schlägt. Das schwere, eiserne Rammklotz, der sogenannte Bär, hängt an einem Seile, welches über eine feste Rolle hinweggeleitet ist. An das andere Ende des Seiles sind viele Stricke geknüpft, welche die Arbeiter anfassen und abwärts ziehen, wenn der Bär gehoben werden soll, der dann um so kräftiger auf den Pfahl niederfällt, je höher er gehoben wurde.

Schwere Steine, Balken, Gerüste werden durch die Kraft der Zugthiere (Pferde oder Ochsen) auf hohe Häuser oder Thürme gezogen. Da das Zugvieh wagrecht zieht, so wendet man in diesem Falle zwei feste Rollen an, von denen eine an dem betreffenden hohen Punkte, die andere dem Boden nahe, in der Höhe der Wage, an welche die Zugthiere gespannt sind, befestiget ist, und das Seil geht über die obere und unter der unteren Rolle hinweg.

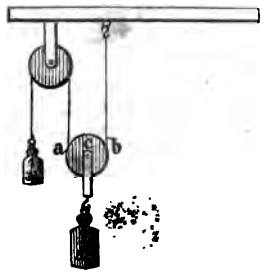


Auch bei Thüren, welche sich selbst schließen sollen, wendet man die feste Rolle an, indem man eine oben an der Thür befestigte Schnur über eine Rolle leitet, und an das andere Ende der Schnur ein Gewicht hängt, dessen senkrechter Zug durch die Rolle in einen wagrecht wirkenden verwandelt wird.

Digitized by Google

§ 27. Die bewegliche Rolle.

Große Hangelaternen, welche zur Erleuchtung der Straßen dienen, hängen an der abwärts gerichteten Scheere einer Rolle, unter welcher die Schnur liegt. Das eine Ende der Schnur ist an einem Hause befestiget; das andere geht über eine an dem gegenüber befindlichen Hause angebrachte feste Rolle hinweg nach unten. Vermöge dieser Einrichtung kann man die Laterne auf den Boden niederlassen, um sie anzuzünden, und sie dann wieder emporziehen.



Eine Rolle, wie die beschriebene, welche sich sammt der an ihrer Scheere hängenden Last auf- und nieder bewegen läßt, heißt eine bewegliche Rolle. Ihr wagrechter Durchmesser stellt einen einarmigen Hebel dar, dessen Unterstützungspunkt da liegt, wo er die Schnur an der von der festen Rolle abgekehrten Seite berührt. Da die Last am Mittelpunkte hängt, so bildet der halbe Durchmesser (der Radius) den Hebelsarm der Last, der ganze Durchmesser aber, an welchem die aufwärts ziehende Schnur wirkt, ist der Hebelsarm der Kraft. (ac = Arm der Last, ab = Arm der Kraft.) Folglich gilt für die bewegliche Rolle das Gesetz:

Mittelst der beweglichen Rolle erspart man die Hälfte der Kraft.

Der Versuch lehrt in der That, daß 5 Pfund Kraft genügen, einer zehnpfündigen Last das Gleichgewicht zu halten.

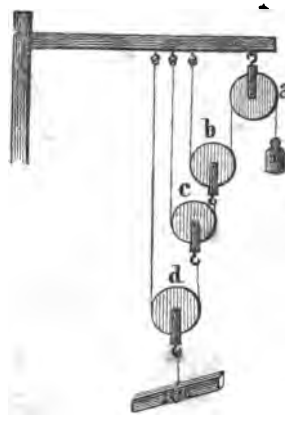
§ 28. Der Potenz-Flaschenzug.

Eine Verbindung mehrerer beweglichen Rollen mit einer oder mehreren festen heißt ein Flaschenzug. Mittelst desselben wird eine große Kraftersparniß bewirkt. Unsere Zeichnung stellt eine — seltener angewendete — Art desselben dar.

a ist eine feste Rolle, an welcher die Kraft wirkt. Durch die bewegliche Rolle b würde, wenn die Last an derselben hinge,

Digitized by Google

die Hälfte der Kraft gespart (§ 27), mithin genügte 1 Pfund Kraft, um einer Last von 2 Pfunden das Gleichgewicht zu halten. Nun hängt aber an der Rolle b eine zweite bewegliche Rolle c. Durch diese wird abermals die Wirkung der Kraft verdoppelt, so daß das eine Pfund nun 4 Pfund zu tragen vermag. Die Last hängt aber erst an der dritten, abermals die Kraft verdoppelnden Rolle d; mithin kann sie 8 Pfund schwer sein, und noch genügt die Kraft von 1 Pfund, um ihr das Gleichgewicht zu halten.



Die erste bewegliche Rolle macht demnach die Wirkung der Kraft $2 \times$ so groß,
die zweite: $2 \times 2 = 4 \times$,
die dritte: $2 \times 2 \times 2 = 8 \times$ so groß.

Da man Producte aus lauter gleichen Factoren **Potenzen** nennt, so erhöht sich die Wirkung der Kraft durch jede hinzukommende bewegliche Rolle um eine Potenz von 2. Bei 3 beweglichen Rollen wird sie in die dritte Potenz von 2 erhoben, bei 5 beweglichen Rollen würde sie die fünfte Potenz von 2 ($2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 32$) betragen, d. h. ein Pfund würde 32 Pfund im Gleichgewicht erhalten.

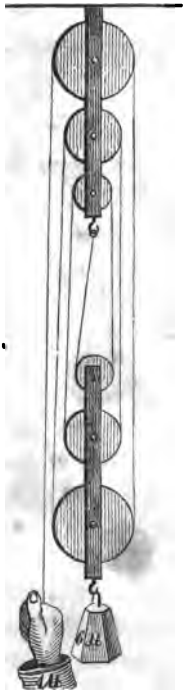
Ein in der beschriebenen Weise eingerichteter Flaschenzug heißt daher ein **Potenz-Flaschenzug**.

§ 29. Der gemeine Flaschenzug.

Weit häufiger, als der Potenz-Flaschenzug wird der **gemeine Flaschenzug** im practischen Leben angewendet. Seine Construction zeigt die Zeichnung auf Seite 60.

Er besteht gewöhnlich aus 6 Rollen, 3 festen und 3 beweglichen. Erstere, von abnehmender Größe, befinden sich in

Digitized by Google



einer gemeinschaftlichen Scheere (Kloben, Flasche) — letztere ebenfalls, aber in umgekehrter Aufeinanderfolge. Der erste Kloben wird in der zu erreichenden Höhe festgemacht. An seinen am untern Ende befindlichen Haken wird das Seil angeknüpft und unter der oberen, kleinsten Rolle des zweiten, beweglichen Klobens hinweggeführt, dann geht es über die kleinste Rolle des festen Klobens, von dort unter der Mittelrolle des beweglichen Klobens hinweg über die Mittelrolle des festen, endlich unter der untersten, größten Rolle des beweglichen Klobens hinweg über die oberste, größte Rolle des festen Klobens. An dem von dort herabhängenden Ende des Seiles wirkt die Kraft; die Last hängt unten an dem beweglichen Kloben.

Bei diesem Flaschenzuge vertheilt sich die Last unter die drei verbundenen beweglichen Rollen zu gleichen Theilen, so daß auf jede $^1/_3$ derselben kommt. Nun wird aber bei jeder beweglichen Rolle (§ 27) die Hälfte der Kraft gespart, und es reicht $^1/_6$ des Gewichts der Last hin, ihr das Gleichgewicht zu halten.

Um uns dies noch klarer zu machen, erinnern wir uns des Gegensatzes, in welchem sich bei allen Erscheinungen am Hebel Kraft und Zeit befinden (§ 22). Wenn die Last bei dem gemeinen Flaschenzuge — falls derselbe, wie gewöhnlich, drei bewegliche Rollen hat — um einen Fuß gehoben werden soll, so muß sich jedes der sechs Seile um einen Fuß verkürzen, es müssen also sechs Fuß des Seiles über die oberste feste Rolle gezogen werden. Während also die Last einen Fuß aufwärts bewegt wird, muß die abwärts ziehende Kraft einen sechsmal so großen Weg durchlaufen; sie hat demnach eine sechsmal so

Digitized by Google

große Geschwindigkeit, als die Last, und braucht deshalb nur den sechsten Theil der Last zu betragen.

Für den gemeinen Flaschenzug gilt, wie sich aus dem Vorangehenden ergiebt, das Gesetz:

So viele Rollen der gemeine Flaschenzug hat, der sovielte Theil der Last ist hinreichend, ihr das Gleichgewicht zu halten.

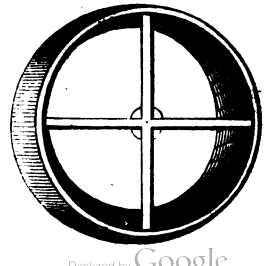
Der gemeine Flaschenzug wird zur Hebung großer Lasten namentlich auf Schiffen und bei hohen Bauten angewendet; auch ziehen sich Dach- und Schieferdecker mittelst desselben in einem Kasten in die Höhe.

Doch ist nicht zu übersehen, daß die bedeutende Reibung und die Steifheit der Stricke zwei große Hindernisse der Bewegung bilden; es muß daher mehr Kraft angewendet werden, als die Rechnung ergiebt.

Der Potenz-Flaschenzug (§ 28) bewirkt allerdings eine größere Kraftersparniß, als der gemeine; allein er wird dennoch seltener gebraucht, weil die Bewegung der Last bei ihm noch langsamer von Statten geht, indem z. B. bei einem Potenz-Flaschenzuge mit drei beweglichen Rollen die Kraft einen achtmal so großen Weg durchläuft, als die Last.

§ 30. Das Rad an der Welle.

An den Ausladeplätzen großer Schiffe sieht man eine Vorrichtung, mittelst deren schwere Lasten gehoben werden — den sogenannten Krahn. Die Last, welche aus dem Schiffe ans Land geschafft werden soll, wird mit einem starken Seile umschlungen, welches aus der schnabelartigen Verlängerung des Daches eines am Ufer stehenden Gebäudes herabhängt. Das andere Ende des Seiles ist innerhalb des Gebäudes um eine wagrecht liegende Welle gewunden. An dieser Welle befindet sich ein großes Rad,



Digitized by Google

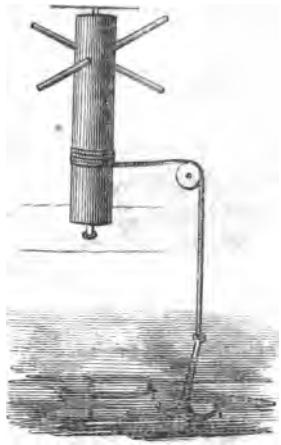
dessen Kranz von Brettern treppenartig gebildet ist. Mehrere Menschen stehen innerhalb dieses Tret- oder Laufrades, und setzen es in Bewegung, indem sie von Stufe zu Stufe fortschreiten, ohne dabei ihren Platz zu verändern, indem eine Stufe nach der andern unter ihren Füßen sich abwärts bewegt. Zugleich mit dem Rade bewegt sich nun auch die Welle, an der es befestigt ist; das Seil schlingt sich um diese, und die Last steigt empor. Ist sie hoch genug gehoben, so wird das Dach des Hauses gedreht, so daß der Schnabel sammt der Last sich dem Lande zukehrt, wo letztere abgenommen wird.

Auch hier sind die Hebelgesetze wieder thätig. Der Halbmesser der Welle ist der Hebelsarm der Last, der Halbmesser des Rades der Hebelsarm der Kraft. Je größer der letztere im Verhältnisse zum ersteren ist, desto mehr Kraft wird gewonnen, aber desto mehr Zeit wird verloren, denn je größer das Rad ist, desto mehr Zeit wird zu seiner einmaligen Umdrehung erfordert. Hätte z. B. die Welle einen Umfang von 3, das Rad einen von 30 Fuß, so müßte die Kraft einen Weg von 30 Fuß durchlaufen, damit sich 3 Fuß des Seiles aufwänden; es würde aber auch die Kraft nur $^1/_{10}$ so stark zu wirken haben, als die Last.

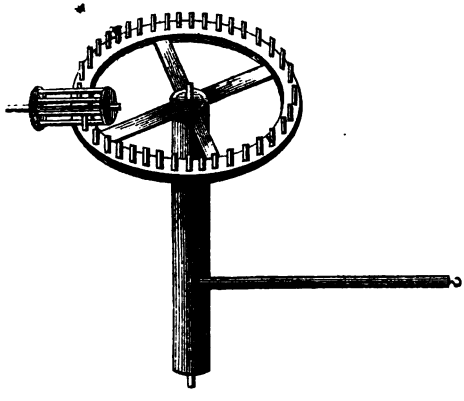
Räder an Wellen zeigt uns jede Mühle. Bei den großen Wasserrädern ist der Stoß des Wassers auf die Schaufeln die bewegende Kraft.

Weit häufiger, als ein vollständiges Rad, wendet man nur einige Speichen oder nur eine einzige an. So kann man die Flügel der Windmühle als Speichen eines Rades an der Welle betrachten, deren Form auf die Auffangung des Druckes der Luft berechnet ist. — Bei manchen Mühlen hängen die sogenannten Schützen, mittelst deren man dem Wasser den Zutritt zu den Rädern mehr oder weniger verschließt, in Ketten, welche um eine Welle geschlungen sind. Soll eine solche Schütze gehoben werden, so steckt man in die zu diesem Zwecke in der Welle angebrachten Löcher Hebel, die man niederdrückt. Auch diese Hebel sind als Speichen eines Rades an der Welle zu betrachten.

Digitized by Google



Die Welle kann wagrecht oder senkrecht stehen. Wird sie im letzteren Falle als Winde benutzt, so heißt sie ein Göpel. Die eingesteckten Hebel haben wagrechte Lage und werden durch Menschen- oder Pferdekraft bewegt. Mit solchen Göpeln windet man Lasten aus Bergwerksschachten und Anker auf Schiffen empor. Da die Matrosen, welche die Hebelsarme fassen, und kräftig vor sich herschieben, im Kreise um die Welle herumgehen, so nennen sie dieselbe eine Gangspille (s. vorstehende Figur). — Das Räderwerk von Roßmühlen (z. B. Lohstampfen) wird häufig durch einen Göpel in Bewegung gesetzt, an dessen deichselförmigen Hebel ein Pferd gespannt ist, welches beständig im Kreise herumgeht. Je länger



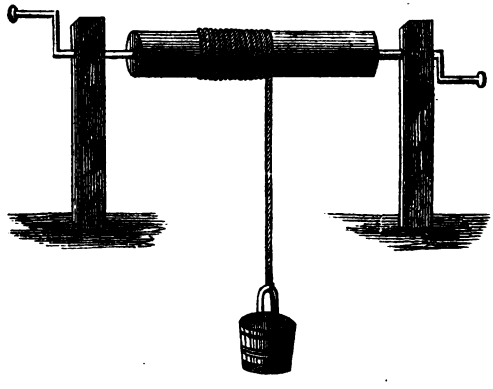
diese Deichsel ist, desto weniger Kraft braucht das Pferd anzuwenden; desto länger dauert es aber, ehe es einmal herumkommt, ehe also die senkrechte Welle einmal um ihre Axe gedreht wird; denn hier wie überall bei dem Gebrauch des Hebels geht an

Digitized by Google

Zeit verloren, was an Kraft gewonnen wird. Soll demnach die Bewegung nicht allzulangsam sein, so darf man die Deichsel nicht allzulang machen. — Eine senkrechte Welle sehen wir unter Anderem auch an der Kaffeemühle. Von dem Rade ist nur eine — wagrechte — Speiche vorhanden, an der sich ein senkrechter Handgriff befindet. Eine solche Speiche mit einem Handgriffe wird eine Kurbel genannt.

Bei vielen Maschinen, welche durch thierische Kraft bewegt werden sollen, wendet man ein schiefliegendes Tretrad oder eine schiefliegende mit Leisten oder Staffeln versehene Tretscheibe an. Zum Treten derselben benutzt man gewöhnlich Ochsen. Indem sie fortwährend die schiefe Ebene zu ersteigen suchen, treten sie die Scheibe hinter sich herum, ohne von der Stelle zu kommen.

Liegt die als Winde dienende Welle wagrecht, so heißt die Vorrichtung eine Haspel. Dergleichen sind die Garnhaspeln. Eine Haspel hat an einem oder an beiden Enden Kurbeln. Auf Schiffen nennt man sie Bratspillen, weil sie wie ein Bratspieß liegen, und sie werden nicht durch Kurbeln, sondern durch aufrecht eingesteckte Hebel bewegt, welche niedergedrückt



Digitized by Google

werden, worauf andere aufrechtstehende Hebel in die Löcher der Welle gesteckt und abermals niedergedrückt werden. Natürlich ist diese Arbeit weit anstrengender und langsamer, als die am Göpel oder der Gangspille. Häufig sieht man wagrechte Wellen mit Kurbeln bei Ziehbrunnen. Sind zwei Kurbeln vorhanden, welche durch Menschenkraft bewegt werden sollen, so müssen sie in entgegengesetzter Richtung stehen, damit immer die eine der Kurbeln abwärts geht; denn in dieser Richtung vermag der Arbeiter das meiste zu leisten, indem das Gewicht des Körpers die Muskelkraft unterstützt.

Durch Kurbeln bewegt man die Schleifsteine, die Walze der Leierkasten, die Kaffeetrommel (den Kaffeebrenner), die Drehrolle (Drehmangel) u. s. w. Um die Kübel aus den Schachten der Bergwerke zu heben, schlägt man ein Seil so um die Welle der Haspel, daß an jeder Seite derselben ein Ende herabhängt. An jedes dieser Enden befestigt man einen Kübel. Dreht man nun die Welle nach der einen Richtung, so steigt der eine Kübel in die Höhe, während der andere hinabsinkt. Dreht man nunmehr die Welle in entgegengesetzter Richtung, so sinkt der Kübel, welcher vorher stieg und umgekehrt. Auf diese Weise zieht man den mit Erz gefüllten Kübel zu Tage, während gleichzeitig der leere hinabsinkt, um ebenfalls gefüllt zu werden, indeß der emporgestiegene ausgeleert wird.

Ist Kraft genug vorhanden, und es kommt auf die Erzielung größerer Geschwindigkeit an, so macht man die Speiche der Kurbel kleiner, als den Halbmesser der zu bewegenden Welle (Walze, Scheibe, des Rades). Dies sieht man z. B. an der Kurbel, mittelst deren die Mittelräder der Locomotive bewegt werden, ferner am Spinnrade, am Schleifsteine u. dgl.

§ 31. Rückblick auf § 20—30.

Werkzeuge, mittelst deren der Mensch seine Arbeit erleichtert, indem er Kraft oder Zeit spart, heißen Maschinen. Die bis jetzt betrachteten Maschinen: der Hebel, die Rolle und das Rad an der Welle ließen sich, wir wir gesehen haben, sämmt-

Digitized by Google

stürzen. Um diese Uebelstände zu beseitigen, befestigt man oben an dem Gerüste eine Rolle. Dies ist eine kreisförmige Scheibe von Holz oder Metall, welche an ihrem Umfange behufs der Aufnahme einer Schnur rinnenförmig vertieft ist. Durch den Mittelpunkt der Scheibe geht eine Axe, deren Enden von einer Scheere getragen werden, so daß, wenn letztere in das Gerüst fest eingeschraubt ist, die Rolle sich um ihre Axe drehen kann. Nun wird ein Strick über die Rolle gelegt, so daß seine beiden Enden auf den Boden herabreichen. An das eine Ende wird die Last befestigt; an dem andern Ende zieht ein unten stehender Arbeiter abwärts, und bewirkt dadurch das Aufsteigen derselben.

Wöge die Last 50 Pfund, so würden, um ihr das Gleichgewicht zu halten, an das zweite Ende des Strickes ebenfalls 50 Pfund angehängt werden müssen. Soviel Kraft braucht der Arbeiter, um die Last zu halten. Soll er sie in die Höhe bewegen, so muß er natürlich mehr Kraft anwenden, und zwar bedeutend mehr, da die Reibung der Axe an der Scheere, so wie die Reibung des Strickes an der Rolle und die Steifigkeit desselben der Bewegung hindernd entgegen treten.

Eine Rolle von der beschriebenen Art, bei welcher die Scheere befestigt ist, so daß die Rolle keine andere Bewegung hat, als um ihre Axe, heißt eine feste Rolle. Bei ihr wird keine Kraft gespart, denn:

Die feste Rolle ist im Gleichgewichte, wenn Kraft und Last einander gleich sind.

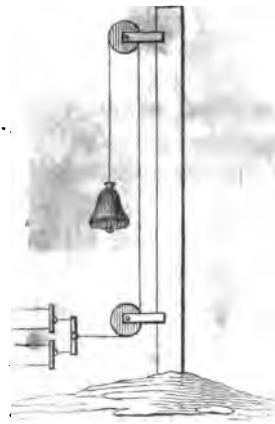
Wir finden also an ihr das Gesetz für den Hebel mit zwei gleichen Armen in Gültigkeit, und in der That sind die eigentlichen Angriffspunkte der Kraft und Last die beiden Endpunkte

Digitized by Google

eines Durchmessers der Rolle, denn dieser stellt einen gleicharmigen Hebel dar, dessen Unterstützungspunkt die Axe ist.

Der wesentliche Nutzen einer festen Rolle besteht, wie wir gesehen haben, darin, daß man mittelst derselben die Richtung einer Bewegung verändern kann. Man wendet sie, wie uns das obige Beispiel zeigte, an, um eine Last in die Höhe zu bringen, während die Arbeiter von oben nach unten ziehen, in welcher Richtung die menschliche Kraft am stärksten zu wirken vermag. Daher gebraucht man sie bei der Rammmaschine, mit welcher man Pfähle in den Boden schlägt. Das schwere, eiserne Rammklotz, der sogenannte Bär, hängt an einem Seile, welches über eine feste Rolle hinweggeleitet ist. An das andere Ende des Seiles sind viele Stricke geknüpft, welche die Arbeiter anfassen und abwärts ziehen, wenn der Bär gehoben werden soll, der dann um so kräftiger auf den Pfahl niederfällt, je höher er gehoben wurde.

Schwere Steine, Balken, Gerüste werden durch die Kraft der Zugthiere (Pferde oder Ochsen) auf hohe Häuser oder Thürme gezogen. Da das Zugvieh wagrecht zieht, so wendet man in diesem Falle zwei feste Rollen an, von denen eine an dem betreffenden hohen Punkte, die andere dem Boden nahe, in der Höhe der Wage, an welche die Zugthiere gespannt sind, befestiget ist, und das Seil geht über die obere und unter der unteren Rolle hinweg.

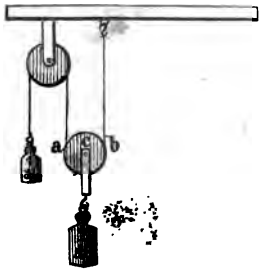


Auch bei Thüren, welche sich selbst schließen sollen, wendet man die feste Rolle an, indem man eine oben an der Thür befestigte Schnur über eine Rolle leitet, und an das andere Ende der Schnur ein Gewicht hängt, dessen senkrechter Zug durch die Rolle in einen wagrecht wirkenden verwandelt wird.

Digitized by Google

§ 27. Die bewegliche Rolle.

Große Hangelaternen, welche zur Erleuchtung der Straßen dienen, hängen an der abwärts gerichteten Scheere einer Rolle, unter welcher die Schnur liegt. Das eine Ende der Schnur ist an einem Hause befestiget; das andere geht über eine an dem gegenüber befindlichen Hause angebrachte feste Rolle hinweg nach unten. Vermöge dieser Einrichtung kann man die Laterne auf den Boden niederlassen, um sie anzuzünden, und sie dann wieder emporziehen.



Eine Rolle, wie die beschriebene, welche sich sammt der an ihrer Scheere hängenden Last auf- und nieder bewegen läßt, heißt eine bewegliche Rolle. Ihr wagrechter Durchmesser stellt einen einarmigen Hebel dar, dessen Unterstützungspunkt da liegt, wo er die Schnur an der von der festen Rolle abgekehrten Seite berührt. Da die Last am Mittelpunkte hängt, so bildet der halbe Durchmesser (der Radius) den Hebelsarm der Last, der ganze Durchmesser aber, an welchem die aufwärts ziehende Schnur wirkt, ist der Hebelsarm der Kraft. (ac = Arm der Last, ab = Arm der Kraft.) Folglich gilt für die bewegliche Rolle das Gesetz:

Mittelst der beweglichen Rolle erspart man die Hälfte der Kraft.

Der Versuch lehrt in der That, daß 5 Pfund Kraft genügen, einer zehnpfündigen Last das Gleichgewicht zu halten.

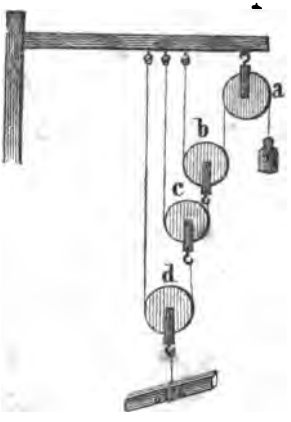
§ 28. Der Potenz-Flaschenzug.

Eine Verbindung mehrerer beweglichen Rollen mit einer oder mehreren festen heißt ein Flaschenzug. Mittelst desselben wird eine große Kraftersparniß bewirkt. Unsere Zeichnung stellt eine — seltener angewendete — Art desselben dar.

a ist eine feste Rolle, an welcher die Kraft wirkt. Durch die bewegliche Rolle b würde, wenn die Last an derselben hinge,

Digitized by Google

die Hälfte der Kraft gespart (§ 27), mithin genügte 1 Pfund Kraft, um einer Last von 2 Pfunden das Gleichgewicht zu halten. Nun hängt aber an der Rolle b eine zweite bewegliche Rolle c. Durch diese wird abermals die Wirkung der Kraft verdoppelt, so daß das eine Pfund nun 4 Pfund zu tragen vermag. Die Last hängt aber erst an der dritten, abermals die Kraft verdoppelnden Rolle d; mithin kann sie 8 Pfund schwer sein, und noch genügt die Kraft von 1 Pfund, um ihr das Gleichgewicht zu halten.



Die erste bewegliche Rolle macht demnach die Wirkung der Kraft $\cdot 2 \times$ so groß,

die zweite: $2 \times 2 = 4 \times$,

die dritte: $2 \times 2 \times 2 = 8 \times$ so groß.

Da man Producte aus lauter gleichen Factoren **Potenzen** nennt, so erhöht sich die Wirkung der Kraft durch jede hinzukommende bewegliche Rolle um eine Potenz von 2. Bei 3 beweglichen Rollen wird sie in die dritte Potenz von 2 erhoben, bei 5 beweglichen Rollen würde sie die fünfte Potenz von 2 ($2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 32$) betragen, d. h. **ein** Pfund würde 32 Pfund im Gleichgewicht erhalten.

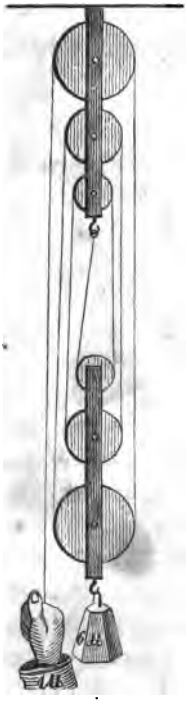
Ein in der beschriebenen Weise eingerichteter Flaschenzug heißt daher ein **Potenz-Flaschenzug**.

§ 29. Der gemeine Flaschenzug.

Weit häufiger, als der Potenz-Flaschenzug wird der **gemeine Flaschenzug** im practischen Leben angewendet. Seine Construction zeigt die Zeichnung auf Seite 60.

Er besteht gewöhnlich aus 6 Rollen, 3 festen und 3 beweglichen. Erstere, von abnehmender Größe, befinden sich in

Digitized by Google



einer gemeinschaftlichen Scheere (Kloben, Flasche) — letztere ebenfalls, aber in umgekehrter Aufeinanderfolge. Der erste Kloben wird in der zu erreichenden Höhe festgemacht. An seinen am untern Ende befindlichen Haken wird das Seil angeknüpft und unter der oberen, kleinsten Rolle des zweiten, beweglichen Klobens hinweggeführt, dann geht es über die kleinste Rolle des festen Klobens, von dort unter der Mittelrolle des beweglichen Klobens hinweg über die Mittelrolle des festen, endlich unter der untersten, größten Rolle des beweglichen Klobens hinweg über die oberste, größte Rolle des festen Klobens. An dem von dort herabhängenden Ende des Seiles wirkt die Kraft; die Last hängt unten an dem beweglichen Kloben.

Bei diesem Flaschenzuge vertheilt sich die Last unter die drei verbundenen beweglichen Rollen zu gleichen Theilen, so daß auf jede $^1/_3$ derselben kommt. Nun wird aber bei jeder beweglichen Rolle (§ 27) die Hälfte der Kraft gespart, und es reicht $^1/_6$ des Gewichts der Last hin, ihr das Gleichgewicht zu halten.

Um uns dies noch klarer zu machen, erinnern wir uns des Gegensatzes, in welchem sich bei allen Erscheinungen am Hebel Kraft und Zeit befinden (§ 22). Wenn die Last bei dem gemeinen Flaschenzuge — falls derselbe, wie gewöhnlich, drei bewegliche Rollen hat — um einen Fuß gehoben werden soll, so muß sich jedes der sechs Seile um einen Fuß verkürzen, es müssen also sechs Fuß des Seiles über die oberste feste Rolle gezogen werden. Während also die Last einen Fuß aufwärts bewegt wird, muß die abwärts ziehende Kraft einen sechsmal so großen Weg durchlaufen; sie hat demnach eine sechsmal so

Digitized by Google

große Geschwindigkeit, als die Last, und braucht deshalb nur den sechsten Theil der Last zu betragen.

Für den gemeinen Flaschenzug gilt, wie sich aus dem Vorangehenden ergiebt, das Gesetz:

So viele Rollen der gemeine Flaschenzug hat, der sovielte Theil der Last ist hinreichend, ihr das Gleichgewicht zu halten.

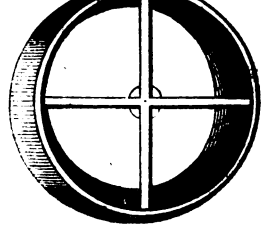
Der gemeine Flaschenzug wird zur Hebung großer Lasten namentlich auf Schiffen und bei hohen Bauten angewendet; auch ziehen sich Dach- und Schieferdecker mittelst desselben in einem Kasten in die Höhe.

Doch ist nicht zu übersehen, daß die bedeutende Reibung und die Steifheit der Stricke zwei große Hindernisse der Bewegung bilden; es muß daher mehr Kraft angewendet werden, als die Rechnung ergiebt.

Der Potenz-Flaschenzug (§ 28) bewirkt allerdings eine größere Kraftersparniß, als der gemeine; allein er wird dennoch seltener gebraucht, weil die Bewegung der Last bei ihm noch langsamer von Statten geht, indem z. B. bei einem Potenz-Flaschenzuge mit drei beweglichen Rollen die Kraft einen achtmal so großen Weg durchläuft, als die Last.

§ 30. Das Rad an der Welle.

An den Ausladeplätzen großer Schiffe sieht man eine Vorrichtung, mittelst deren schwere Lasten gehoben werden — den sogenannten Krahn. Die Last, welche aus dem Schiffe ans Land geschafft werden soll, wird mit einem starken Seile umschlungen, welches aus der schnabelartigen Verlängerung des Daches eines am Ufer stehenden Gebäudes herabhängt. Das andere Ende des Seiles ist innerhalb des Gebäudes um eine wagrecht liegende Welle gewunden. An dieser Welle befindet sich ein großes Rad,



Digitized by Google

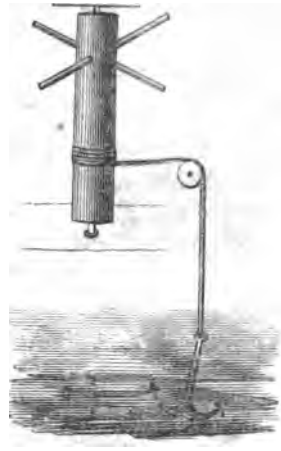
dessen Kranz von Brettern treppenartig gebildet ist. Mehrere Menschen stehen innerhalb dieses Tret- oder Laufrades, und setzen es in Bewegung, indem sie von Stufe zu Stufe fortschreiten, ohne dabei ihren Platz zu verändern, indem eine Stufe nach der andern unter ihren Füßen sich abwärts bewegt. Zugleich mit dem Rade bewegt sich nun auch die Welle, an der es befestigt ist; das Seil schlingt sich um diese, und die Last steigt empor. Ist sie hoch genug gehoben, so wird das Dach des Hauses gedreht, so daß der Schnabel sammt der Last sich dem Lande zukehrt, wo letztere abgenommen wird.

Auch hier sind die Hebelgesetze wieder thätig. Der Halbmesser der Welle ist der Hebelsarm der Last, der Halbmesser des Rades der Hebelsarm der Kraft. Je größer der letztere im Verhältnisse zum ersteren ist, desto mehr Kraft wird gewonnen, aber desto mehr Zeit wird verloren, denn je größer das Rad ist, desto mehr Zeit wird zu seiner einmaligen Umdrehung erfordert. Hätte z. B. die Welle einen Umfang von 3, das Rad einen von 30 Fuß, so müßte die Kraft einen Weg von 30 Fuß durchlaufen, damit sich 3 Fuß des Seiles aufwänden; es würde aber auch die Kraft nur $^1/_{10}$ so stark zu wirken haben, als die Last.

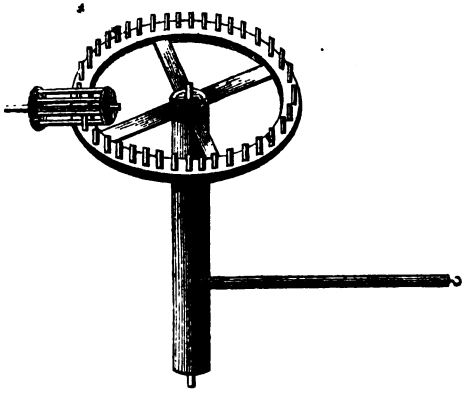
Räder an Wellen zeigt uns jede Mühle. Bei den großen Wasserrädern ist der Stoß des Wassers auf die Schaufeln die bewegende Kraft.

Weit häufiger, als ein vollständiges Rad, wendet man nur einige Speichen oder nur eine einzige an. So kann man die Flügel der Windmühle als Speichen eines Rades an der Welle betrachten, deren Form auf die Auffangung des Druckes der Luft berechnet ist. — Bei manchen Mühlen hängen die sogenannten Schützen, mittelst deren man dem Wasser den Zutritt zu den Rädern mehr oder weniger verschließt, in Ketten, welche um eine Welle geschlungen sind. Soll eine solche Schütze gehoben werden, so steckt man in die zu diesem Zwecke in der Welle angebrachten Löcher Hebel, die man niederdrückt. Auch diese Hebel sind als Speichen eines Rades an der Welle zu betrachten.

Digitized by Google



Die Welle kann wagrecht oder senkrecht stehen. Wird sie im letzteren Falle als Winde benutzt, so heißt sie ein Göpel. Die eingesteckten Hebel haben wagrechte Lage und werden durch Menschen- oder Pferdekraft bewegt. Mit solchen Göpeln windet man Lasten aus Bergwerksschachten und Anker auf Schiffen empor. Da die Matrosen, welche die Hebelsarme fassen, und kräftig vor sich herschieben, im Kreise um die Welle herumgehen, so nennen sie dieselbe eine Gangspille (s. vorstehende Figur). — Das Räderwerk von Roßmühlen (z. B. Lohstampfen) wird häufig durch einen Göpel in Bewegung gesetzt, an dessen deichselförmigen Hebel ein Pferd gespannt ist, welches beständig im Kreise herumgeht. Je länger



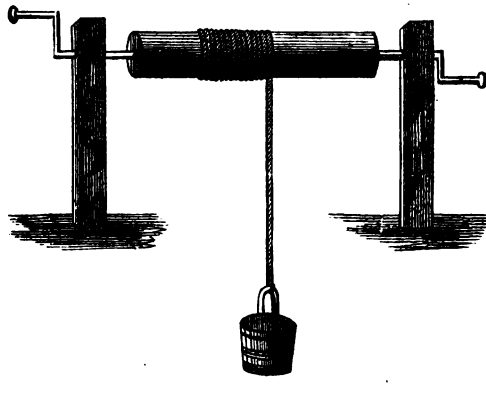
diese Deichsel ist, desto weniger Kraft braucht das Pferd anzuwenden; desto länger dauert es aber, ehe es einmal herumkommt, d. h. also die senkrechte Welle einmal um ihre Axe gedreht wird; denn hier wie überall bei dem Gebrauch des Hebels geht an

Digitized by Google

Zeit verloren, was an Kraft gewonnen wird. Soll demnach die Bewegung nicht allzulangsam sein, so darf man die Deichsel nicht allzulang machen. — Eine senkrechte Welle sehen wir unter Anderem auch an der Kaffeemühle. Von dem Rade ist nur eine — wagrechte — Speiche vorhanden, auf der sich ein senkrechter Handgriff befindet. Eine solche Speiche mit einem Handgriffe wird eine Kurbel genannt.

Bei vielen Maschinen, welche durch thierische Kraft bewegt werden sollen, wendet man ein schiefliegendes Tretrad oder eine schiefliegende mit Leisten oder Staffeln versehene Tretscheibe an. Zum Treten derselben benutzt man gewöhnlich Ochsen. Indem sie fortwährend die schiefe Ebene zu ersteigen suchen, treten sie die Scheibe hinter sich herum, ohne von der Stelle zu kommen.

Liegt die als Winde dienende Welle wagrecht, so heißt die Vorrichtung eine Haspel. Dergleichen sind die Garnhaspeln. Eine Haspel hat an einem oder an beiden Enden Kurbeln. Auf Schiffen nennt man sie Bratspillen, weil sie wie ein Bratspieß liegen, und sie werden nicht durch Kurbeln, sondern durch aufrecht eingesteckte Hebel bewegt, welche niedergedrückt



Digitized by Google

werden, worauf andere aufrechtstehende Hebel in die Löcher der Welle gesteckt und abermals niedergedrückt werden. Natürlich ist diese Arbeit weit anstrengender und langsamer, als die am Göpel oder der Gangspille. Häufig sieht man wagrechte Wellen mit Kurbeln bei Ziehbrunnen. Sind zwei Kurbeln vorhanden, welche durch Menschenkraft bewegt werden sollen, so müssen sie in entgegengesetzter Richtung stehen, damit immer die eine der Kurbeln abwärts geht; denn in dieser Richtung vermag der Arbeiter das meiste zu leisten, indem das Gewicht des Körpers die Muskelkraft unterstützt.

Durch Kurbeln bewegt man die Schleifsteine, die Walze der Leierkasten, die Kaffeetrommel (den Kaffeebrenner), die Drehrolle (Drehmangel) u. s. w. Um die Kübel aus den Schachten der Bergwerke zu heben, schlägt man ein Seil so um die Welle der Haspel, daß an jeder Seite derselben ein Ende herabhängt. An jedes dieser Enden befestigt man einen Kübel. Dreht man nun die Welle nach der einen Richtung, so steigt der eine Kübel in die Höhe, während der andere hinabsinkt. Dreht man nunmehr die Welle in entgegengesetzter Richtung, so sinkt der Kübel, welcher vorher stieg und umgekehrt. Auf diese Weise zieht man den mit Erz gefüllten Kübel zu Tage, während gleichzeitig der leere hinabsinkt, um ebenfalls gefüllt zu werden, indeß der emporgestiegene ausgeleert wird.

Ist Kraft genug vorhanden, und es kommt auf die Erzielung größerer Geschwindigkeit an, so macht man die Speiche der Kurbel kleiner, als den Halbmesser der zu bewegenden Welle (Walze, Scheibe, des Rades). Dies sieht man z. B. an der Kurbel, mittelst deren die Mitteräder der Locomotive bewegt werden, ferner am Spinnrade, am Schleifsteine u. dgl.

§ 31. Rückblick auf § 20—30.

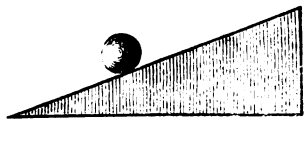
Werkzeuge, mittelst deren der Mensch seine Arbeit erleichtert, indem er Kraft oder Zeit spart, heißen Maschinen. Die bis jetzt betrachteten Maschinen: der Hebel, die Rolle und das Rad an der Welle ließen sich, wir wir gesehen haben, sämmt-

Digitized by Google

lich auf ein Gesetz, nämlich auf das des Hebels zurückführen, und wir fassen sie daher zusammen als die Gruppe des Hebels. Wir erkannten bei allen, daß durch sie eigentlich nichts an der Arbeit selbst erspart werden kann, denn was wir an Kraft gewannen, büßten wir an Zeit ein und umgekehrt; je größer der mechanische Vortheil ist, desto größer ist der mechanische Nachtheil. Dennoch sind sie von der höchsten Wichtigkeit, da in dem einen Falle die Ersparniß an Kraft, in dem andern die Ersparniß an Zeit oft die bedeutsamsten Vortheile gewährt, und tausend Arbeiten ohne diese Maschinen gar nicht verrichtet werden könnten. — Wir wenden uns nun zu der zweiten Gruppe der einfachen Maschinen: zur Gruppe der schiefen Ebene.

§ 32. Die schiefe Ebene.

Wenn die Fuhrleute ein schweres Faß auf ihren Wagen laden wollen, so wenden sie die sogenannte Schrotleiter an. Dieselbe besteht aus zwei starken, durch Querhölzer verbundenen Stangen, und wird schräg an den Wagen gelegt. Wird nun das Faß auf dieser Schrotleiter aufwärts gerollt, so trägt dieselbe einen Theil der Last, und die Arbeiter haben nur den andern Theil derselben zu überwinden. Je länger die Schrotleiter im Vergleiche mit der Höhe des Wagens ist, desto weniger Kraft erfordert das Hinaufbewegen der Last — desto länger ist aber auch der Weg, den sie durchlaufen muß, desto größer also der erforderliche Aufwand an Zeit.



Eine gleich der Schrotleiter allmählig aufsteigende Ebene heißt eine schiefe Ebene. Dieselbe gehört zu den einfachen Maschinen, und wir finden auch bei ihr das für alle mechanische Arbeiten geltende Gesetz in Wirksamkeit: was an Kraft gewonnen wird, geht an Zeit verloren.

Die Bewegung einer Last auf einer schiefen Ebene hält die Mitte zwischen der Bewegung derselben auf einer wagrechten

Digitized by Google

Ebene und der senkrechten Bewegung. Eine wagrechte Ebene trägt das ganze Gewicht der Last, und zu der Fortschaffung derselben ist nur die Ueberwindung der Reibung (§ 13) erforderlich. Bei der senkrechten Bewegung ist gar keine Unterstützung vorhanden, und das Gewicht der ganzen Last muß überwunden werden, wenn dieselbe gehoben werden soll.

Bei der schiefen Ebene genügt der sovielte Theil der Last, um ihr als Kraft das Gleichgewicht zu halten, der sovielte Theil die Höhe der schiefen Ebene von ihrer Länge ist, vorausgesetzt, daß die Richtung der Kraft mit der schiefen Ebene gleichlaufend ist.

Steigt demnach eine schiefe Ebene bei einer Länge von 10 Fuß um einen Fuß, so genügt die Kraft von einem Pfunde, um zehn Pfunden das Gleichgewicht zu halten; steigt sie bei gleicher Länge 2 Fuß, so muß die Kraft 2 Pfund betragen; steigt sie 5 Fuß, so sind 5 Pfund Kraft erforderlich. Soll aber der Last nicht bloß eine Kraft entgegengesetzt werden, die ihr das Gleichgewicht hält, soll vielmehr, wie dies in der Regel der Fall ist, die Last auf der schiefen Ebene aufwärts bewegt werden, so muß natürlich die Kraft verstärkt werden.

Rollt eine Kugel auf einer schiefen Ebene abwärts, so ist ihre Bewegung eine gleichmäßig schneller werdende, doch eine langsamere, als bei dem freien Falle, und zwar eine um so langsamere, je weniger steil die Ebene liegt.

Nicht nur als Schrotleiter, sondern auch in sehr vielen anderen Fällen findet die schiefe Ebene Anwendung. Die Arbeiter, welche Erde auf eine Höhe schaffen sollen, legen sich von Brettern eine schiefe Ebene, und fahren auf dieser mit ihren Karren. Zu Kalköfen, in welche man die zu brennenden Kalksteine von oben hinabschüttet, führt eine schiefe Ebene in Form einer schräg liegenden Brücke hinauf; ebenso ist es bei den Hochöfen, in welche die Erze und die Brennmaterialien auch von oben hinabgeschüttet werden. Bei Sägemühlen werden die zu zerschneidenden Stämme auf einer schiefen Ebene hinaufgewunden. Landstraßen in hügeligen und bergigen

Digitized by Google

Gegenden bilden sehr häufig schiefe Ebenen. Man sucht bei ihnen eine zu große Ansteigung, welche für das Fuhrwerk sehr beschwerlich und gefährlich ist, möglichst zu vermeiden, und macht lieber Umwege. So führt man z. B. Straßen über hohe Berge entweder in Schneckenwindungen mehrere Male um den Berg herum, oder man legt den Weg zwar auf einer Seite des Berges an, führt ihn aber in sehr allmählig ansteigenden Zickzacklinien hin und her. Für Eisenbahnen ist jede irgend erhebliche Ansteigung bedenklich, und man durchbohrt ganze Berge durch Tunnel, um den Schienen möglichst wagrechte Lage geben zu können. Muß aber eine Eisenbahn schlechterdings über einen Berg hinweggeführt werden, so bleibt nichts übrig, als daß man auf dem Gipfel desselben eine Dampfmaschine aufstellt, welche den Bahnzug hinaufwindet. — In Bergwerken und an den Mündungen der Schachte bringt man häufig Eisenbahnen in Form schiefer Ebenen an. Indem die beladenen Wagen von der Schwerkraft getrieben abwärts rollen, ziehen sie zugleich die leeren Wagen aufwärts. — Jede schräg angelehnte Leiter, jede Treppe ist eine schiefe Ebene, die um so beschwerlicher zu besteigen ist, je steiler sie sich erhebt. — Auf der Kegelbahn rollt die zurückkehrende Kugel in einer Rinne, welche eine schiefe Ebene bildet. — Schreibpulte sind schiefe Ebenen, die man, um das Herabfallen der Papiere zu verhindern, mit einem Ueberzuge von rauhem Tuche versieht. — Um die kugelrunden Körner von den platten zu sondern, läßt man in Schrotfabriken die Schrotkörner auf einem mit Leisten versehenen, schrägliegenden Brette herablaufen, auf welchem die unvollkommen gerundeten zurückbleiben.

§ 33. Der Keil.

Holzhauer spalten oft ein Stück Holz dadurch, daß sie in eine mit der Axt gemachte Spalte mittelst eines Schlägels einen hölzernen oder eisernen Keil eintreiben, wodurch die beiden Theile aus einander gedrängt werden. Betrachten wir einen solchen Keil, so erscheint er als eine Verbindung zweier schiefen

Digitized by Google

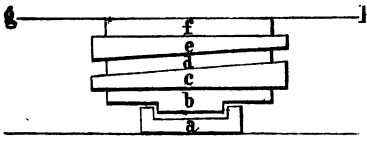
Ebenen, die sich nach vorn in eine scharfe Schneide vereinigen, während sie hinten den breiten Rücken bilden. Hier ist der Zusammenhang der Theile des Holzes die zu überwindende Last, und die schiefe Ebene ist beweglich. Je niedriger der Rücken des Keiles im Vergleich mit der Länge seiner Seitenflächen, oder, was dasselbe besagt, je dünner der Keil ist, desto leichter dringt er ein, desto weniger trennt er aber die beiden Theile des Holzes aus einander, — auch bei ihm offenbart sich mithin der Gegensatz von mechanischem Vor- und Nachtheil. Uebrigens verzehrt bei der Anwendung des Keiles die ungemein starke, auf beiden Seiten wirkende Reibung einen großen Theil der Kraft.

Die Anwendung des Keils ist eine außerordentlich vielfache. Sehr häufig dient er, wie in dem so eben besprochenen Falle, zum Trennen, Spalten und Schneiden. Alle unsere schneidenden und stechenden Werkzeuge haben Keilform, die je nach dem zu erreichenden Zwecke verschieden angewendet ist. Messer, Beile, Aexte, Grabscheite, Pflugschaare, Meißel, Stemmeisen, Hobeleisen, Säbel, Lanzenspitzen, Bajonnette, Steck- und Nähnadeln, Scheeren, Bohrer, Beiß- und Nagelzangen u. s. w. sind keilförmig gestaltet. Die Schneide- und Eckzähne der Menschen und Thiere, die Zähne der Säge, die Erhabenheiten der Feilen bilden Keile; auch die Wurzelenden und die Spitzen der Keime an den Pflanzen haben Keilform, damit sie die Erdschollen leichter zu trennen vermögen.

In vielen Fällen wird der Keil angewendet, um eine Pressung hervorzubringen. So verkeilen die Holzarbeiter einzelne Theile der Geräthschaften, z. B. die Schemelbeine mittelst keilförmig zugeschnittener Hölzer. Das Hobeleisen wird durch Keile festgehalten; die Lettern des Buchdruckers werden durch Keile aneinandergepreßt; die Schiffsmasten stellt man durch eingetriebene Keile fest; Korkpfropfen, die Wirbel der Saiteninstrumente u. dgl. sind runde Keile.

In den Oelmühlen bringt man das Oel aus den zerstampften Samenkörnern mittelst der Keilpresse aus. In ein sehr starkes hölzernes Gefäß a paßt der hervorragende Theil des

Digitized by Google



Kerns b, und muß gewaltsam in das Gefäß hineingetrieben werden, um den in grobe Haartücher eingeschlagenen Oelteig auszupressen. Zu diesem Behufe legt man auf den Kern b den Lösekeil c, auf diesen ein viereckiges Stück Holz, das sogenannte Kreuz d; auf letzteres den Treibkeil e, dessen Rücken nach derjenigen Seite gewendet ist, auf welcher die abgestumpfte Schneide des Lösekeils liegt; auf den Treibkeil endlich noch ein viereckiges Stück Holz f, welches sich an den nicht nachgebenden Balken (Riegel) g h preßt. Treibt man nun mittelst eines (gewöhnlich durch eine Maschine bewegten) Hammers den Treibkeil e tiefer hinein, so wird der Kern b mit großer Kraft in das Gefäß a hinabgedrückt, und das ausgequetschte Oel läuft durch eine in a befindliche Oeffnung ab. Giebt man hierauf dem Lösekeil c einen kräftigen Hammerschlag auf seine stumpfe Schneide, so fliegt er heraus, die Preßvorrichtung fällt aus einander, und man kann das Tuch, welches den ausgepreßten Oelkuchen enthält, entfernen.

Die Ziegeln, mittelst deren Gewölbe gemacht werden, sind Keile, welche sich durch wechselseitigen Druck festhalten, und sich an den Seiten an unbewegliche Pfeiler lehnen.

Auch zum Heben schwerer Lasten benutzt man Keile, welche man unter dieselben treibt; unter festgenagelte Kistendeckel sucht man den keilförmigen Meißel zu zwängen, um sie zu heben; um einen feststeckenden Nagel auszuziehen, zwängt man die aus zwei Keilen gebildete Nagelzange unter den Kopf desselben u. s. w.

§ 34. Die Schraube.

Der Schlosser befestigt ein Schloß an die Thür mittelst eiserner Schrauben, die man Holzschrauben nennt. Eine solche Schraube ist ein walzenförmiger Körper (ein Cylinder), um welchen sich eine erhabene schiefe Ebene gleichmäßig immer höher und höher windet. Um sich die Entstehung der Schrauben-

Digitized by Google

linie anschaulich zu machen, schneide man sich aus Papier ein rechtwinkeliges Dreieck, und winde es dergestalt um einen runden Bleistift oder Federhalter, daß der längere Schenkel des rechten Winkels sich kreisförmig rollt; die dem rechten Winkel gegenüber liegende Seite (die Hypotenuse) zeigt dann die Schraubengänge an. Der Kopf einer Holzschraube hat einen Einschnitt, in welchen man ein meißelartiges Werkzeug, den Schraubenzieher, einsetzen und die Schraube dadurch umdrehen kann. Treibt man nun die Schraube ins Holz, so bohrt sie sich in demselben vertiefte Schraubengänge, wird durch die starke Reibung fester gehalten als ein Nagel, und läßt sich auch leichter wieder herausbringen, als dieser.

Soll aber eine Schraube nicht in Holz eingedreht werden, so gehört zu der Schraubenspindel eine sogenannte Schraubenmutter (ein Mütterchen), welche entsteht, wenn sich die Schraubengänge an der innern Seite eines kurzen hohlen Cylinders hinaufwinden. Die Gänge der Spindel greifen in die Vertiefungen der Mutter, und umgekehrt, die Gänge der Mutter in die Vertiefungen der Spindel. Bei dem Gebrauche der Schraube ist entweder die Mutter fest (z. B. bei den Schrauben eines Gewehrschlosses) und die Spindel wird mittelst des Schraubenziehers gedreht; oder die Spindel ist fest, und die Mutter wird mittelst der Hand oder mittelst eines besonderen Schlüssels gedreht, wie dies bei den Axen der Wagen der Fall ist.

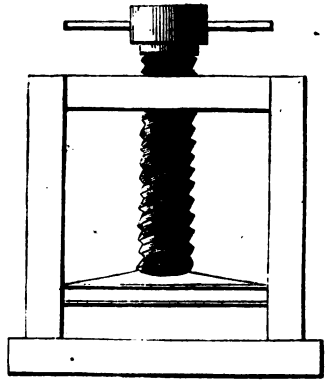
Außer zur Befestigung wendet man die Schraube besonders zum Heben schwerer Lasten und zum Pressen an.

Die Hebeschraube wird besonders von den Zimmerleuten angewendet, um einen Balken in einem Gebäude etwas höher zu treiben; ebenso hebt man Kirchenglocken mit derselben aus ihren Lagern, wenn an diesen eine Reparatur vorgenommen werden soll.

Digitized by Google

Eine große hölzerne Schraubenspindel, welche sich in einer Schraubenmutter befindet, wird unter den emporzuhebenden Gegenstand gestellt, so daß die Mutter auf einer nicht nachgebenden Unterlage ruht. Nun wird die Spindel mit Hülfe eines durch ihren Kopf gesteckten Hebels umgedreht, so daß sie allmählig senkrecht emporsteigt, und die Last langsam aber mit großer Kraft hebt.

Bei Schraubenpressen ist entweder die Spindel fest und die Mutter beweglich, oder die Mutter ist fest und die Spindel wird bewegt. Den ersten Fall zeigt die bekannte Buchbinder- oder Pflanzenpresse, welche zwei Schrauben hat. Auf den Balken, aus dem sich die beiden Spindeln senkrecht erheben, werden die zu pressenden Bücher, Pflanzen u. dgl. gelegt, und mit einem Brette bedeckt, welches, indem man die Muttern abwärts dreht, einen größeren oder geringeren Druck erleidet und denselben auf die unter ihm befindlichen Gegenstände überträgt.



— Bei der Buchdruckerpresse befindet sich die Mutter in dem oberen Querriegel des Gerüstes, die Spindel aber wird mittelst eines Hebels (des Preßbengels) abwärts bewegt, und preßt mittelst eines Brettes den Bogen Papier auf den Letternsatz. — Schraubstöcke und Feilkloben bestehen aus zwei Schenkeln, welche durch eine elastische Feder aus einander gehalten werden, so daß sie gleichsam ein offenes Maul mit zwei Lippen bilden. Will man nun einen Gegenstand mittelst derselben festhalten, so nähert man sie einander durch Umdrehung der Schraubenspindel. — Die Schraubenzwinge, mittelst deren der Tischler die zusammen geleimten Holztheile an einander preßt, bestehen aus einer Klammer, mit welcher eine Schraube verbunden ist. — Mittelst

Digitized by Google

einer Schraube wird das Nähkissen an der Tischplatte befestiget.

Durch Schrauben kann man eine sehr langsam aber regelmäßig fortschreitende Bewegung erzeugen. Bei jeder Umdrehung bewegt sich nämlich die Schraube so weit fort, als die Weite eines Ganges beträgt. Enthielte sie nun z. B. 100 Schraubengänge auf der Länge eines Zolles, so würde die Fortbewegung bei einmaliger Umdrehung nur $^1/_{100}$ Zoll betragen. Wäre auf dem einen Ende der Schraube eine kreisförmige Scheibe befestiget, deren Umkreis in eine bestimmte Anzahl (z. B. 100) gleicher Theile getheilt wäre, und befände sich an dem Gestell ein unbeweglicher Zeiger, so könnte man Theile einer Umdrehung bestimmen. Drehte man in dem gegebenen Falle die Spindel nur so weit, daß einer von den hundert Theilen der Scheibe unter dem Zeiger fortgerückt wäre, so betrüge die Bewegung nur $^1/_{100} \cdot {}^1/_{100} = {}^1/_{10{,}000}$ Zoll. Solche Schrauben, welche man an feinen astronomischen Instrumenten findet, heißen Mikrometerschrauben.

Für die Schraube gilt das Gesetz der schiefen Ebene. Je niedriger die Schraubengänge sind, desto weniger Kraft wird erfordert, ein um so kleinerer Weg wird aber auch von der Last zurückgelegt. Wie man die Kraft noch durch Anwendung des Hebels verstärkt, wurde schon oben erwähnt. Uebrigens verzehrt die ungemein große Reibung bei der Schraube drei Viertheile der Kraft.

Wie mittelst einer Schraube die größten Dampfschiffe fortbewegt werden, lehrt § 152.

§ 35. Rück- und Vorblick.

Wir haben nun die sechs einfachen Maschinen kennen gelernt. Es sind dies:

A. **Gruppe des Hebels.**

1. Der Hebel.
2. Die Rolle.
3. Das Rad an der Welle.

Digitized by Google

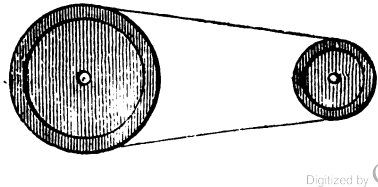
B. Gruppe der schiefen Ebene.

4. Die schiefe Ebene.
5. Der Keil.
6. Die Schraube.

Sehr oft ist es nothwendig und vortheilhaft, daß die Bewegung eines Theiles einer zusammengesetzten Maschine auf einen andern übertragen werde, damit dieser ebenfalls in Bewegung gerathe. In vielen Fällen muß zugleich die Bewegung Veränderungen erleiden, indem der zweite Maschinentheil sich selber oder langsamer oder in anderer Richtung bewegen soll, oder indem aus einer kreisförmigen Bewegung eine hin- und hergehende entstehen soll und umgekehrt. Welche Mittel man in diesen Fällen anwendet, soll nun gezeigt werden.

§ 36. Die Schnur ohne Ende.

An dem gewöhnlichen Spinnrädchen setzt die Spinnerin mittelst des Fußtrittes und des Gaukelmännchens (s. davon § 39) das große Rad in Bewegung. Die Bewegung desselben soll nun auf die Spindel übertragen und zugleich bedeutend beschleuniget werden. Um dies zu bewirken, ist um das große Rad und ein an der Spindel befestigtes kleines Rädchen eine Schnur ohne Ende gelegt, d. h. eine Darmsaite, deren beide Enden zusammengebunden sind. Wird nun diese Schnur gespannt, so daß sie fest anliegt, und das große Rad wird in Bewegung gesetzt, so bewegt sich die Schnur in Folge der Reibung ebenfalls, und, indem sie sich zugleich an dem Umfange des kleinen Rades reibt, setzt sie auch dieses in Bewegung. Damit die Schnur nicht von dem Umfange des Rades abgleitet, läuft sie



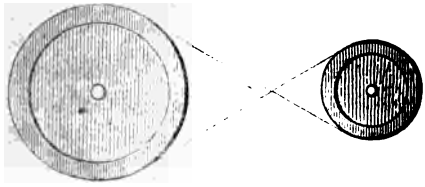
Digitized by Google

in einer Rinne, oder der Umfang des Rades ist mit erhöheten Leisten oder vorstehenden Stiften versehen.

Wären die beiden Räder, um welche die Schnur geschlungen ist, von gleicher Größe, so würden sie sich gleichschnell bewegen; ist jedoch, wie bei dem Spinnrade, das zweite Rad kleiner, so ist seine Bewegung eine raschere. Betrüge z. B. der Umfang des großen Rades 3 Fuß, der des kleinen aber nur 3 Zoll, so würde sich das letztere 12 mal umdrehen, während jenes eine Umdrehung machte, die Bewegung wäre also zwölfmal so schnell geworden.

Umgekehrt kann mittelst der Schnur ohne Ende auch eine langsamere Bewegung erzeugt werden, wenn das zweite Rad größer ist, als das erste.

Will man bewirken, daß sich das zweite Rad in umgekehrter Richtung drehe, so kreuzt man die Schnur. Zur



Unterscheidung der nicht gekreuzten Schnur von der gekreuzten nennt man jene die offene Schnur.

Statt einer Schnur wendet man in vielen Fällen ein Band oder einen Riemen an. Auch Gelenkketten, wie man sie in den Taschenuhren sieht, vertreten die Stelle der Schnur ohne Ende. Eine solche Gelenkkette krümmt sich nur nach einer Seite und ist in jeder anderen Richtung steif.

Die Schnur (der Riemen, die Kette) ohne Ende gewährt mancherlei Vortheile. Soll z. B. die Bewegung des Rades schnell aufhören, so schlägt man die Schnur von demselben ab; soll sie wieder beginnen, so schlägt man sie wieder auf. Oft ist auch eine Vorrichtung vorhanden, z. B. eine Stellschraube,

Digitized by Google

mittelst deren man das eine Rad dem andern etwas nähern und dadurch die Schnur schlaff und unwirksam machen kann und umgekehrt. — Ferner kann man durch eine einzige Schnur mehrere Räder in Bewegung setzen, indem man sie um alle schlingt, so daß sie die mittleren nur streift, wie man dies in Woll- und Baumwollspinnereien, bei dem Seilerrade u. s. w. sieht. — Oft laufen von einer in Bewegung gesetzten längeren Walze viele Schnüre ohne Ende nach eben so vielen Rädern (oder Rollen) hin, die dann alle in Bewegung kommen.

§ 37. Die gezahnten Räder.

Um uns zu belehren, wie gezahnte Räder zur Fortleitung und zugleich zur Beschleunigung so wie zur Veränderung der Richtung einer Bewegung angewendet werden, besuchen wir eine Wassermühle, und lassen uns das Räderwerk derselben zeigen. Wir werden Folgendes wahrnehmen.

Die Getreidekörner sollen durch die Reibung zweier Mühlsteine in Mehl verwandelt werden. Von diesen liegt der untere, der Bodenstein, unbeweglich auf dem Mahlgerüste fest; der obere hingegen, der Läufer, muß sich ziemlich nahe über dem vorigen rasch um seine Axe drehen. Diese Axe ist eine starke, senkrechte, eiserne Stange, das Mühleisen genannt.

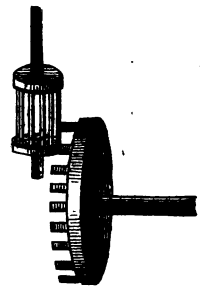
Außen, neben dem Mühlhause, erblicken wir das Wasserrad, welches durch den Druck und Stoß des Wassers in Bewegung gesetzt wird. Wenn Wasser in hinreichender Menge vorhanden ist, so ist dieses Rad ein unterschlächtiges, d. h. es besteht in Schaufeln, breiten Brettern, welche zwischen seinem doppelten Kranze befestiget sind. Stößt nun das Wasser an eine der unteren Schaufeln, so muß diese fortrücken, und an ihre Stelle tritt die folgende, welche sogleich wieder vom Wasser fortgestoßen wird; auf diese Weise kommt das Rad in Umschwung. — Ist nur wenig Wasser vorhanden, so läßt man es von einiger

Digitized by Google

Höhe herab auf das Wasserrad fallen, welches dann ein oberschlächtiges heißt. Es hat statt der Schaufeln an seinem Umfange Kasten oder Zellen. Fällt nun das Wasser in einen solchen Kasten, so sinkt derselbe in Folge des Druckes abwärts, und der folgende Kasten füllt sich. Unten angekommen entleeren sich die Kasten; für jeden leer werdenden wird oben wieder ein anderer voll, und das Rad bleibt in regelmäßiger Bewegung.

Die wagrechte Welle des Wasserrades geht mit einem ihrer Enden in das Mühlgebäude hinein. Dort befindet sich an ihr ein zweites Rad, welches also zugleich mit ihr sich dreht. Dieses zweite Rad ist ein Kamm- oder Kronenrad, d. h. es ist rings um seinen Kranz herum mit Zähnen besetzt, welche mit der Welle gleiche Richtung haben.

Die Zähne dieses Kammrades greifen in ein kleines Rad mit senkrechter Welle, ein sogenanntes Getriebe oder einen Trilling ein. Ein solches Getriebe ist ebenfalls als ein gezahntes Rad zu betrachten, doch ist es in der Regel von eigenthümlicher Form. Es besteht nämlich aus zwei Scheiben, welche an ihren Umkreisen durch gleichweit entfernte Stöcke (Triebstöcke) verbunden sind. Jeder Zahn des Kammrades schiebt einen solchen Triebstock fort, und auf diese Weise geräth das Getriebe in Bewegung. Ist nun die senkrechte Welle des Getriebes das oben erwähnte Mühleisen, an welchem sich der Läufer befindet, so ist es klar, wie derselbe in Umlauf gesetzt wird.



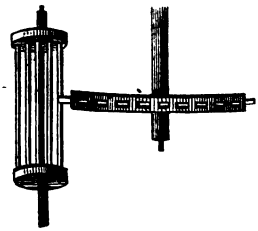
Wir bemerken aber zugleich, daß die Bewegung des Läufers eine ungleich raschere ist, als die des Wasserrades. Wie geht dies zu?

Der Umfang des Kammrades ist weit größer, als der des Getriebes. Nehmen wir an, das Kammrad habe 102 Zähne, der Trilling hingegen nur 6 Triebstöcke, so wird, da jeder Zahn

Digitized by Google

des Kammrades einen Triebstock fortschiebt, das Getriebe, folglich auch der Läufer, während eines Umschwunges des Kammrades deren so viele machen, als 6 in 102 enthalten ist, = 17; der Läufer wird also 17 mal so schnell bewegt, als das Kamm- und das Wasserrad.

Sollte eine noch größere Geschwindigkeit erzielt werden, so dürfte sich der Läufer nicht an der Welle des Getriebes befinden, sondern es müßte noch ein Rad und ein zweites Getriebe angewendet werden.



Es wird in diesem Falle die senkrechte Welle des ersten Getriebes noch ein wagrechtes gezahntes Rad tragen, dessen Zähne aber in der Richtung der Halbmesser des Rades stehen, so daß sie, wenn man sie nach innen verlängerte, in der Welle zusammentreffen würden. Ein solches Rad heißt ein Stirnrad. Dieses greift mit seinen Zähnen in das zweite Getriebe, dessen Welle das Mühleisen ist.

Das Stirnrad bewegt sich eben so schnell, wie das erste Getriebe, mithin 17 mal so schnell als das Kammrad. Hat nun das Stirnrad 80 Zähne, das zweite Getriebe aber 8 Triebstöcke, so wird letzteres, folglich auch der Läufer, sich zehnmal so schnell bewegen, als das Stirnrad, mithin 10 . 17 = 170 mal so schnell als das Kammrad.

Diese Betrachtung hat uns dreierlei gezeigt:

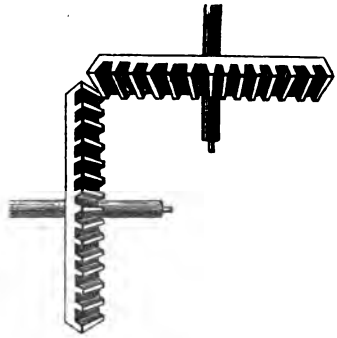
1) wie durch gezahnte Räder eine Bewegung fortgeleitet werden kann;
2) wie diese Bewegung beschleuniget werden kann;
3) wie die Richtung derselben verändert werden kann, indem durch eine wagrechte Welle mittelst eines Kronenrades eine senkrechte Welle bewegt wird.

Wir haben ferner eigentliche gezahnte Räder und Getriebe kennen gelernt, bei jenen aber Kamm- oder Kronenräder und Stirnräder unterschieden. Nur durch ein

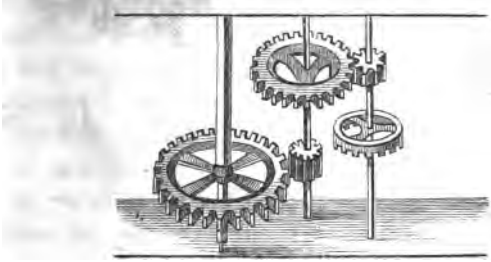
Digitized by Google

Kammrad kann eine wagrechte Bewegung in eine senkrechte verwandelt werden und umgekehrt; mittelst eines Stirnrades hingegen wird die Bewegung nur in derselben Richtung fortgepflanzt, d. h. ein Stirnrad mit wagrechter Welle treibt stets ein anderes Rad oder ein Getriebe, dessen Welle ebenfalls wagrecht liegt.

Statt der Kamm- oder Kronenräder wendet man in neuerer Zeit häufig die konischen (kegelförmigen) oder Winkelräder an, deren auf dem Radkranze liegende Zähne nach der Axe der Welle zu schräg ansteigen. Man kann dieselben sogar so einrichten, daß die eine Welle schräg zu liegen kommt.



Eine Maschine, bei welcher mehrere gezahnte Räder und Getriebe in einander eingreifen, heißt ein Räderwerk. Da



es eben so interessant als lehrreich ist, solche Räderwerke zu betrachten, so benutze man jede Gelegenheit, die sich dazu darbietet.

Es ist uns klar geworden, wie mittelst eines Räderwerkes eine Bewegung ungemein beschleunigt werden kann. Denken wir uns einmal eine Verbindung von 6 gezahnten Rädern,

Digitized by Google

jedes mit 100 Zähnen, und 6 Getrieben, jedes mit 10 Triebstöcken.

Das erste Getriebe wird sich 10 mal so schnell bewegen, als das erste Rad, und ebensoschnell dreht sich das zweite Rad, welches mit dem ersten Getriebe an einer und derselben Welle festsitzt. Das zweite Getriebe dreht sich schon 10 . 10 = 100 mal so schnell, als das erste Rad,

das dritte: 10 . 100 = 1000 mal,
das vierte: 10 . 1000 = 10,000 mal,
das fünfte: 10 . 10,000 = 100,000 mal,
das sechste: 10 . 100,000 = 1,000,000 mal

so schnell als das erste Rad. Allerdings würde bei einer so zusammengesetzten Maschine die Reibung ein zuletzt unübersteigliches Hinderniß bilden.

Zuweilen beabsichtigt man jedoch bei einem Räderwerke eine Verlangsamung der Bewegung. Wäre z. B. in einer Uhr ein Getriebe mit 10 Triebstöcken gerade so eingerichtet, daß es sich in einer Minute einmal umdrehte, und es sollte ein Rad durch dasselbe dergestalt bewegt werden, daß es erst in einer Stunde, also in 60 Minuten, einmal herumkäme, so müßte es 60 mal so viel Zähne haben, mithin 600. Ein solches Rad würde schon durch seine Größe unbequem werden. Man wendet daher lieber mehrere Räder und Getriebe an. Hätte das erste Rad z. B. 60 Zähne, so wäre seine Bewegung sechsmal so langsam, als die des ersten Getriebes. Befände sich nun an dem ersten Rade ein Getriebe mit 6 Zähnen, welches in ein zweites Rad mit 60 Zähnen eingriffe, so würde dieses sich 10 mal so langsam bewegen, als das erste Rad, also, wie verlangt wurde, 60 mal so langsam, als das erste Getriebe, und ein von seiner Welle getragener Zeiger käme in einer Stunde einmal im Kreise herum.

Denselben Zweck würde folgende Zusammenstellung erreichen:

1stes Getriebe mit 10 Zähnen, dreht sich in einer Minute um;

Digitized by Google

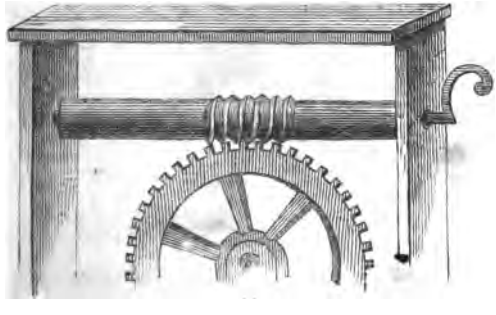
1stes Rad mit 75 Zähnen braucht zu einer Umdrehung $7^1/_2$ Minute;

2tes Getriebe mit 10 Zähnen ebenfalls, da es an derselben Axe befindlich ist;

2tes Rad mit 80 Zähnen braucht zu einer Umdrehung $8 \times 7^1/_2 = 60$ Minuten.

§ 38. Die gezahnte Stange. Die Schraube ohne Ende.

Wenn ein Lastwagen auf weichem Wege tief eingesunken ist, oder wenn ein Rad desselben abgenommen werden muß, wendet man die Fuhrmannswinde an. Diese enthält in einem starken hölzernen Gehäuse eine senkrechte eiserne Stange, welche an einer Seite mit Zähnen versehen ist. In diese greifen die Zähne eines kleinen Stirnrades, das mittelst eines zweiten größeren Stirnrades, dessen Axe nach außen vortritt, und mit einer Kurbel versehen ist, bewegt wird. Dreht man mittelst dieser das größere Stirnrad nach rechts, so bewegt sich das kleinere Rad nach links, und jeder Zahn desselben schiebt einen Zahn der Stange fort; diese tritt aus der Winde senkrecht hervor, und hebt mittelst eines an ihrem oberen Ende befestigten Halbmondes den Theil des Wagens, unter welchen sie gestellt ist.



Digitized by Google

Ein Sperrhaken, welcher zwischen die Zähne des Rades eingreift, hindert das Zurückgehen desselben; er wird ausgehoben, wenn die Stange wieder abwärts bewegt werden soll.

Auch bei den Sägemühlen findet die gezahnte Stange Anwendung. Dort liegt nämlich der zu durchsägende Baum auf einer Art Schlitten (dem Klotzwagen), in dessen gezahnte Unterfläche ein gezahntes Rad eingreift, welches ihn vorwärts schiebt.

Zum Heben von Lasten dient auch die Schraube ohne Ende, bei welcher einige an einer Welle angebrachte Schraubengänge in ein Stirnrad eingreifen und einen Zahn nach dem andern fortschieben. Um die Axe des Rades ist das Seil geschlungen, an welchem die Last hängt (s. die vorige Fig.).

§ 39. Die Kurbel und die Leitstange. Stangenkünste. Wellenarme.

An dem Spinnrade führt von dem hinteren Ende des Fußtrittes eine Stange (die Leitstange oder der Gaukelmann) zu der Kurbel oder dem Krummzapfen des großen Ra-

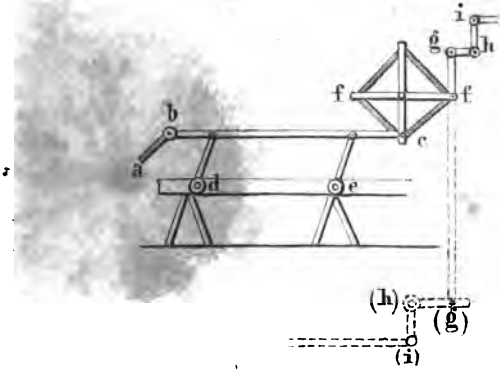
des, und dient dazu, die Bewegung des Fußtrittes zu dem Rade fortzuleiten, und dieses in Umschwung zu setzen.

Digitized by Google

Das Umgekehrte sieht man bei der Sägemühle. Dort wird die Radbewegung mittelst Kurbel und Leitstange in eine auf- und niedergehende, wie sie die Säge haben muß, verwandelt.

An dem Dampfwagen bringt der Dampf eine hin und her gehende Bewegung der Pumpenstange hervor. Letztere steht mit einer an der Axe des Mittelrades befindlichen Kurbel in Verbindung, und dreht diese und somit zugleich das Rad um.

Mittelst der sogenannten Stangenkünste, welche man besonders bei Bergwerken findet, leitet man eine Bewegung oft auf große Strecken fort, und kann zugleich ihre Richtung nach Belieben ändern.



Es sei z. B. a b eine Leitstange, welche durch die Kurbel eines durch Wasser, Dampf oder Wind in Bewegung gesetzten Rades hin und her bewegt wird. Von dieser Leitstange aus geht eine andere beliebig lange Stange b c oder eine Verbindung von Stangen in wagrechter Richtung aus, welche nun ebenfalls hin und her gezogen wird. Dieses sogenannte Feldgestänge muß dergestalt unterstützt sein, daß seine Bewegung nicht gehindert wird. Auf feststehenden Gerüsten, den Kunstböcken, sind wagrechte Wellen (d, e) angebracht, von deren jeder aus ein Arm zu dem Gestänge geht, und es trägt. Soll die wagrechte Bewegung in eine senkrechte verwandelt werden, so bringt man

Digitized by Google

mittelst deren man das eine Rad dem andern etwas nähern und dadurch die Schnur schlaff und unwirksam machen kann und umgekehrt. — Ferner kann man durch eine einzige Schnur mehrere Räder in Bewegung setzen, indem man sie um alle schlingt, so daß sie die mittleren nur streift, wie man dies in Woll- und Baumwollspinnereien, bei dem Sekkerrade u. s. w. sieht. — Oft laufen von einer in Bewegung gesetzten längeren Walze viele Schnüre ohne Ende nach eben so vielen Rädern (oder Rollen) hin, die dann alle in Bewegung kommen.

§ 37. Die gezahnten Räder.

Um uns zu belehren, wie gezahnte Räder zur Fortleitung und zugleich zur Beschleunigung so wie zur Veränderung der Richtung einer Bewegung angewendet werden, besuchen wir eine Wassermühle, und lassen uns das Räderwerk derselben zeigen. Wir werden Folgendes wahrnehmen.

Die Getreidekörner sollen durch die Reibung zweier Mühlsteine in Mehl verwandelt werden. Von diesen liegt der untere, der Bodenstein, unbeweglich auf dem Mahlgerüste fest; der obere hingegen, der Läufer, muß sich ziemlich nahe über dem vorigen rasch um seine Axe drehen. Diese Axe ist eine starke, senkrechte, eiserne Stange, das Mühleisen genannt.

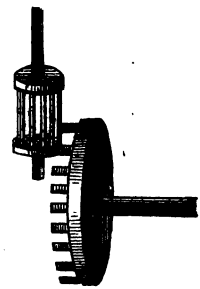
Außen, neben dem Mühlhause, erblicken wir das Wasserrad, welches durch den Druck und Stoß des Wassers in Bewegung gesetzt wird. Wenn Wasser in hinreichender Menge vorhanden ist, so ist dieses Rad ein unterschlächtiges, d. h. es besteht in Schaufeln, breiten Brettern, welche zwischen seinem doppelten Kranze befestiget sind. Stößt nun das Wasser an eine der unteren Schaufeln, so muß diese fortrücken, und an ihre Stelle tritt die folgende, welche sogleich wieder vom Wasser fortgestoßen wird; auf diese Weise kommt das Rad in Umschwung. — Ist nur wenig Wasser vorhanden, so läßt man es von einiger

Digitized by Google

Höhe herab auf das Wasserrad fallen, welches dann ein oberschlächtiges heißt. Es hat statt der Schaufeln an seinem Umfange Kasten oder Zellen. Fällt nun das Wasser in einen solchen Kasten, so sinkt derselbe in Folge des Druckes abwärts, und der folgende Kasten füllt sich. Unten angekommen entleeren sich die Kasten; für jeden leer werdenden wird oben wieder ein anderer voll, und das Rad bleibt in regelmäßiger Bewegung.

Die wagrechte Welle des Wasserrades geht mit einem ihrer Enden in das Mühlgebäude hinein. Dort befindet sich an ihr ein zweites Rad, welches also zugleich mit ihr sich dreht. Dieses zweite Rad ist ein Kamm- oder Kronenrad, d. h. es ist rings um seinen Kranz herum mit Zähnen besetzt, welche mit der Welle gleiche Richtung haben.

Die Zähne dieses Kammrades greifen in ein kleines Rad mit senkrechter Welle, ein sogenanntes Getriebe oder einen Trilling ein. Ein solches Getriebe ist ebenfalls als ein gezahntes Rad zu betrachten, doch ist es in der Regel von eigenthümlicher Form. Es besteht nämlich aus zwei Scheiben, welche an ihren Umkreisen durch gleichweit entfernte Stöcke (Triebstöcke) verbunden sind. Jeder Zahn des Kammrades schiebt einen solchen Triebstock fort, und auf diese Weise geräth das Getriebe in Bewegung. Ist nun die senkrechte Welle des Getriebes das oben erwähnte Mühleisen, an welchem sich der Läufer befindet, so ist es klar, wie derselbe in Umlauf gesetzt wird.



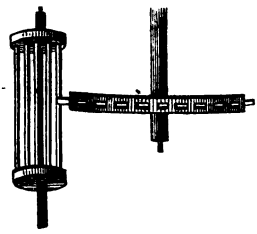
Wir bemerken aber zugleich, daß die Bewegung des Läufers eine ungleich raschere ist, als die des Wasserrades. Wie geht dies zu?

Der Umfang des Kammrades ist weit größer, als der des Getriebes. Nehmen wir an, das Kammrad habe 102 Zähne, der Trilling hingegen nur 6 Triebstöcke, so wird, da jeder Zahn

Digitized by Google

des Kammrades einen Triebstock fortschiebt, das Getriebe, folglich auch der Läufer, während eines Umschwunges des Kammrades deren so viele machen, als 6 in 102 enthalten ist, = 17; der Läufer wird also 17 mal so schnell bewegt, als das Kamm- und das Wasserrad.

Sollte eine noch größere Geschwindigkeit erzielt werden, so dürfte sich der Läufer nicht an der Welle des Getriebes befinden, sondern es müßte noch ein Rad und ein zweites Getriebe angewendet werden.



Es wird in diesem Falle die senkrechte Welle des ersten Getriebes noch ein wagrechtes gezahntes Rad tragen, dessen Zähne aber in der Richtung der Halbmesser des Rades stehen, so daß sie, wenn man sie nach innen verlängerte, in der Welle zusammentreffen würden. Ein solches Rad heißt ein Stirnrad. Dieses greift mit seinen Zähnen in das zweite Getriebe, dessen Welle das Mühleisen ist.

Das Stirnrad bewegt sich eben so schnell, wie das erste Getriebe, mithin 17 mal so schnell als das Kammrad. Hat nun das Stirnrad 80 Zähne, das zweite Getriebe aber 8 Triebstöcke, so wird letzteres, folglich auch der Läufer, sich zehnmal so schnell bewegen, als das Stirnrad, mithin 10 . 17 = 170 mal so schnell als das Kammrad.

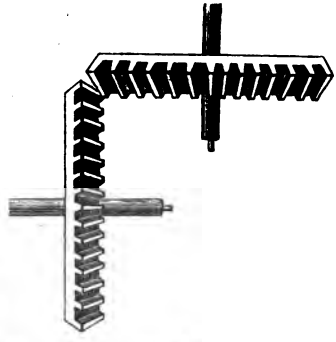
Diese Betrachtung hat uns dreierlei gezeigt:

1) wie durch gezahnte Räder eine Bewegung fortgeleitet werden kann;
2) wie diese Bewegung beschleuniget werden kann;
3) wie die Richtung derselben verändert werden kann, indem durch eine wagrechte Welle mittelst eines Kronenrades eine senkrechte Welle bewegt wird.

Wir haben ferner eigentliche gezahnte Räder und Getriebe kennen gelernt, bei jenen aber Kamm- oder Kronenräder und Stirnräder unterschieden. Nur durch ein

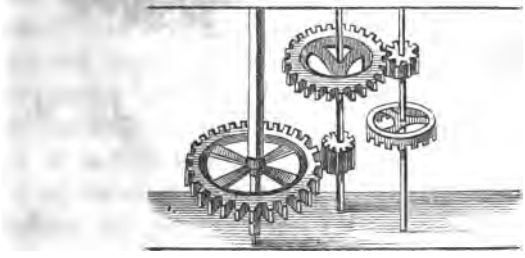
Digitized by Google

Kammrad kann eine wagrechte Bewegung in eine senkrechte verwandelt werden und umgekehrt; mittelst eines Stirnrades hingegen wird die Bewegung nur in derselben Richtung fortgepflanzt, d. h. ein Stirnrad mit wagrechter Welle treibt stets ein anderes Rad oder ein Getriebe, dessen Welle ebenfalls wagrecht liegt.



Statt der Kamm- oder Kronenräder wendet man in neuerer Zeit häufig die konischen (kegelförmigen) oder Winkelräder an, deren auf dem Radkranze liegende Zähne nach der Axe der Welle zu schräg ansteigen. Man kann dieselben sogar so einrichten, daß die eine Welle schräg zu liegen kommt.

Eine Maschine, bei welcher mehrere gezahnte Räder und Getriebe in einander eingreifen, heißt ein Räderwerk. Da



es eben so interessant als lehrreich ist, solche Räderwerke zu betrachten, so benutze man jede Gelegenheit, die sich dazu darbietet.

Es ist uns klar geworden, wie mittelst eines Räderwerkes eine Bewegung ungemein beschleunigt werden kann. Denken wir uns einmal eine Verbindung von 6 gezahnten Rädern,

Digitized by Google

jedes mit 100 Zähnen, und 6 Getrieben, jedes mit 10 Triebstöcken.

Das erste Getriebe wird sich 10 mal so schnell bewegen, als das erste Rad, und ebensoschnell dreht sich das zweite Rad, welches mit dem ersten Getriebe an einer und derselben Welle festsitzt. Das zweite Getriebe dreht sich schon 10 . 10 = 100 mal so schnell, als das erste Rad,

das dritte: 10 . 100 = 1000 mal,
das vierte: 10 . 1000 = 10,000 mal,
das fünfte: 10 . 10,000 = 100,000 mal,
das sechste: 10 . 100,000 = 1,000,000 mal

so schnell als das erste Rad. Allerdings würde bei einer so zusammengesetzten Maschine die Reibung ein zuletzt unübersteigliches Hinderniß bilden.

Zuweilen beabsichtigt man jedoch bei einem Räderwerke eine Verlangsamung der Bewegung. Wäre z. B. in einer Uhr ein Getriebe mit 10 Triebstöcken gerade so eingerichtet, daß es sich in einer Minute einmal umdrehte, und es sollte ein Rad durch dasselbe dergestalt bewegt werden, daß es erst in einer Stunde, also in 60 Minuten, einmal herumkäme, so müßte es 60 mal so viel Zähne haben, mithin 600. Ein solches Rad würde schon durch seine Größe unbequem werden. Man wendet daher lieber mehrere Räder und Getriebe an. Hätte das erste Rad z. B. 60 Zähne, so wäre seine Bewegung sechsmal so langsam, als die des ersten Getriebes. Befände sich nun an dem ersten Rade ein Getriebe mit 6 Zähnen, welches in ein zweites Rad mit 60 Zähnen eingriffe, so würde dieses sich 10 mal so langsam bewegen, als das erste Rad, also, wie verlangt wurde, 60 mal so langsam, als das erste Getriebe, und ein von seiner Welle getragener Zeiger käme in einer Stunde einmal im Kreise herum.

Denselben Zweck würde folgende Zusammenstellung erreichen:

1stes Getriebe mit 10 Zähnen, dreht sich in einer Minute um;

Digitized by Google

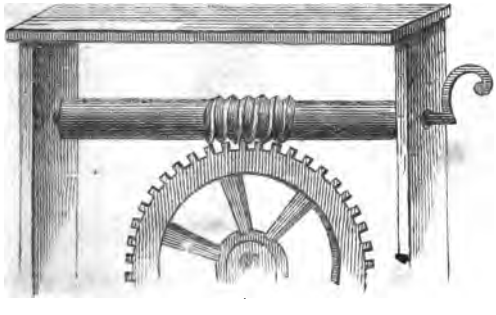
1stes Rad mit 75 Zähnen braucht zu einer Umdrehung $7^1/_2$ Minute;

2tes Getriebe mit 10 Zähnen ebenfalls, da es an derselben Axe befindlich ist;

2tes Rad mit 80 Zähnen braucht zu einer Umdrehung $8 \times 7^1/_2 = 60$ Minuten.

§ 38. Die gezahnte Stange. Die Schraube ohne Ende.

Wenn ein Lastwagen auf weichem Wege tief eingesunken ist, oder wenn ein Rad desselben abgenommen werden muß, wendet man die Fuhrmannswinde an. Diese enthält in einem starken hölzernen Gehäuse eine senkrechte eiserne Stange, welche an einer Seite mit Zähnen versehen ist. In diese greifen die Zähne eines kleinen Stirnrades, das mittelst eines zweiten größeren Stirnrades, dessen Axe nach außen vortritt, und mit einer Kurbel versehen ist, bewegt wird. Dreht man mittelst dieser das größere Stirnrad nach rechts, so bewegt sich das kleinere Rad nach links, und jeder Zahn desselben schiebt einen Zahn der Stange fort; diese tritt aus der Winde senkrecht hervor, und hebt mittelst eines an ihrem oberen Ende befestigten Halbmondes den Theil des Wagens, unter welchen sie gestellt ist.



Digitized by Google

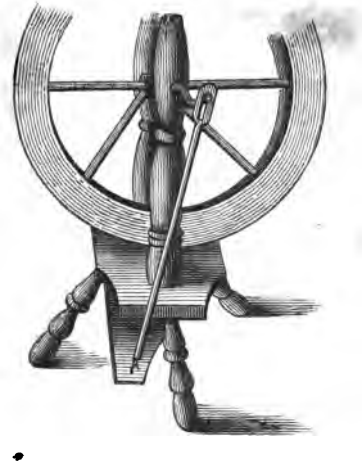
Ein Sperrhaken, welcher zwischen die Zähne des Rades eingreift, hindert das Zurückgehen desselben; er wird ausgehoben, wenn die Stange wieder abwärts bewegt werden soll.

Auch bei den Sägemühlen findet die gezahnte Stange Anwendung. Dort liegt nämlich der zu durchsägende Baum auf einer Art Schlitten (dem Klotzwagen), in dessen gezahnte Unterfläche ein gezahntes Rad eingreift, welches ihn vorwärts schiebt.

Zum Heben von Lasten dient auch die Schraube ohne Ende, bei welcher einige an einer Welle angebrachte Schraubengänge in ein Stirnrad eingreifen und einen Zahn nach dem andern fortschieben. Um die Axe des Rades ist das Seil geschlungen, an welchem die Last hängt (s. die vorige Fig.).

§ 39. Die Kurbel und die Leitstange. Stangenkünste. Wellenarme.

An dem Spinnrade führt von dem hinteren Ende des Fußtrittes eine Stange (die Leitstange oder der Gaukelmann) zu der Kurbel oder dem Krummzapfen des großen Ra-



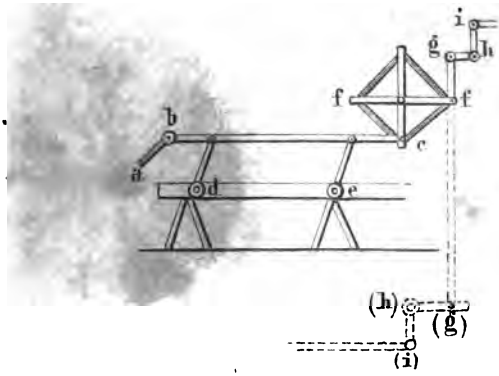
des, und dient dazu, die Bewegung des Fußtrittes zu dem Rade fortzuleiten, und dieses in Umschwung zu setzen.

Digitized by Google

Das Umgekehrte sieht man bei der Sägemühle. Dort wird die Radbewegung mittelst Kurbel und Leitstange in eine auf- und niedergehende, wie sie die Säge haben muß, verwandelt.

An dem Dampfwagen bringt der Dampf eine hin und her gehende Bewegung der Pumpenstange hervor. Letztere steht mit einer an der Axe des Mittelrades befindlichen Kurbel in Verbindung, und dreht diese und somit zugleich das Rad um.

Mittelst der sogenannten Stangenkünste, welche man besonders bei Bergwerken findet, leitet man eine Bewegung oft auf große Strecken fort, und kann zugleich ihre Richtung nach Belieben ändern.

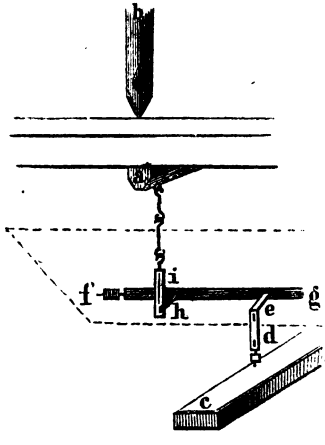


Es sei z. B. a b eine Leitstange, welche durch die Kurbel eines durch Wasser, Dampf oder Wind in Bewegung gesetzten Rades hin und her bewegt wird. Von dieser Leitstange aus geht eine andere beliebig lange Stange b c oder eine Verbindung von Stangen in wagrechter Richtung aus, welche nun ebenfalls hin und her gezogen wird. Dieses sogenannte Feldgestänge muß dergestalt unterstützt sein, daß seine Bewegung nicht gehindert wird. Auf feststehenden Gerüsten, den Kunstböcken, sind wagrechte Wellen (d, e) angebracht, von deren jeder aus ein Arm zu dem Gestänge geht, und es trägt. Soll die wagrechte Bewegung in eine senkrechte verwandelt werden, so bringt man

Digitized by Google

am Ende des Gestänges ein sogenanntes Kunstkreuz (ff) an, welches wie ein Winkelhebel wirkt, und die Stange fg auf und nieder zieht. Durch einen folgenden Winkelhebel (ghi) oder ein zweites Kunstkreuz kann die Bewegung wieder in eine wagrechte verwandelt werden. So kann das Kunstgestänge über Anhöhen hinweg oder um dieselben herum geleitet werden, und es kann an seinem Ende Pumpen u. dgl. in Bewegung setzen. Sollte es seine Arbeit in der Tiefe eines Bergwerkes verrichten, so würde die Stange fg nach unten führen müssen, wie dies durch die punktirten Linien angedeutet ist.

In Orgeln wird eine Bewegung durch Wellen und Winkelhaken (Winkelhebel) nach entfernten Punkten fortgeleitet und in ihrer Richtung verändert. Soll z. B. ein Ventil a aufgezogen werden, damit eine Pfeife b Wind erhalte, so wird eine Taste c niedergedrückt. Nun steht aber die Pfeife, welche ertönen soll, keineswegs senkrecht über der Taste, sondern oft weit nach rechts oder links entfernt. Daher führt von der Taste eine senkrechte Stange (Abstracte) d an das Aermchen e einer wagrecht liegenden Welle fg, und bewegt dasselbe abwärts. An einem anderen Punkte der Welle, gerade unter dem Ventile, befindet sich ein zweites Aermchen h, welches sich ebenfalls niederwärts bewegt, und von diesem aus führt eine zweite Abstracte i zu dem Ventile und zieht es auf. — Wem sich Gelegenheit darbietet, das Innere eines Orgelwerkes zu betrachten, der wird beobachten können, wie die Fortleitung einer Bewegung auf mannigfache Weise bewerkstelliget werden kann.

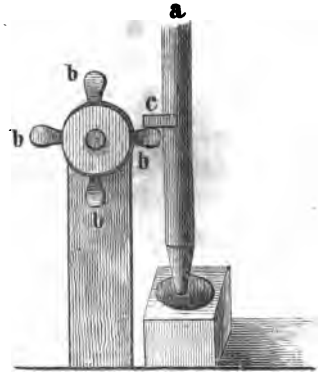


Digitized by Google

§ 40. Die Daumenwelle.

Die Lohmühle hat den Zweck, die Eichenrinde zu zerstampfen, und sie dadurch in die für den Roth- oder Lohgerber unentbehrliche Lohe zu verwandeln. In einem langen, dicken Baume, dem Löcher- oder Grubenbaume befinden sich trogartige Vertiefungen, in denen hölzerne, unten mit Eisen beschlagene Stampfer a senkrecht stehen, welche die eingeschüttete Rinde zerkleinern sollen. Diese Stampfer müssen in die Höhe gehoben werden, und fallen dann vermöge ihrer Schwere nieder. Damit sie nicht zur Seite sinken, sind sie oben und unten von Scheidelatten umgeben, welche ihnen zwar hinreichenden Spielraum zur senkrechten Bewegung gewähren, aber ihr Umfallen verhindern. Wie geschieht nun das Heben der Stampfer?

In der Mitte der Lohmühle erhebt sich eine senkrechte Welle, welche ein wagrechtes Kamm- oder Kronenrad (§ 37) trägt. An eine in der Welle befestigte Deichsel (einen Hebel) wird ein Pferd gespannt, welches beständig im Kreise herumgeht, und die Welle sammt ihrem Rade dreht. Das Kammrad greift in ein wagrechtes Getriebe, dessen lange Welle bis über den Löcherbaum hinausgeht. Da, wo die Stampfer stehen, hat diese Welle gekrümmte Zapfen, sogenannte Daumen oder Däumlinge b, und zwar hinter jedem Stampfer. Jeder Stampfer hat an seiner Hinterseite eine Hervorragung, die Hebelatte c, welche von einem Däumlinge von unten gefaßt wird, aber wieder abgleitet, sobald der Stampfer hoch genug gehoben ist, worauf dieser niederfällt, und von dem wiederkehrenden Daumen aufs Neue gehoben wird. Die Daumen sind so geordnet, daß sie nicht gleichzeitig, sondern nach einander die verschiedenen Stampfer heben.



Digitized by Google

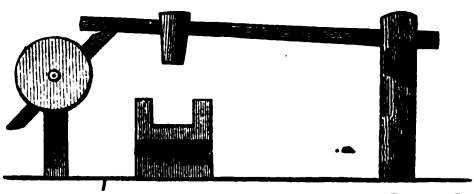
Es ist klar, daß die Daumenwelle auch durch die Kraft des Wassers, des Windes u. dgl. bewegt werden kann, so wie daß in jedem Mühlwerke sehr bequem nebenbei ein Stampfwerk angebracht werden kann, wie man denn dies sehr häufig findet.

In ähnlicher Weise, wie das Zerstampfen der Lohe in der Lohmühle, geschieht die Zerkleinerung der Erze in den Pochwerken, das Zerquetschen der Oelsamen in den Oelmühlen, das Zerstoßen der zum Schießpulver erforderlichen Materialien in den Pulvermühlen. Bei letzteren dürfen die Stampfer nicht mit Eisen beschlagen sein, da sonst, wenn einige Sandkörner oder Steinchen in der Masse wären, ein Funke entstehen könnte, der eine furchtbare Explosion bewirken würde.

Mittelst der Daumenwelle werden auch die mächtigen, oft zentnerschweren Hämmer in den Eisenwerken in Bewegung gesetzt. Diese Hämmer heißen Schwanzhämmer, und ihr

Stiel bildet einen Hebel mit zwei ungleichen Armen, dessen Umdrehungspunkt in einem Pfosten liegt. Die Daumen drücken den kürzeren Hebelsarm (den Schwanz) nieder; daher hebt sich der am Ende des längeren Armes befestigte Hammer hoch empor, und fällt sodann mit großer Geschwindigkeit, folglich mit bedeutender Kraft, auf den Ambos nieder, so daß der Arbeiter nur das zu hämmernde Eisen oder Kupfer mittelst einer Zange zu halten und nach Erfordern umzuwenden hat.

Kommt es weniger auf eine bedeutende Hebung, als auf ein

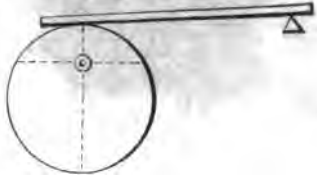


Digitized by Google

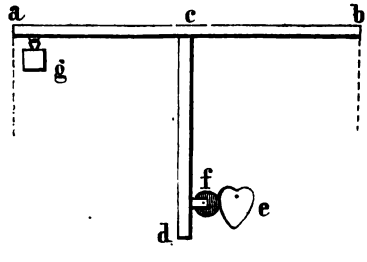
raſches Niederfallen der Hämmer an, ſo gebraucht man die ſogenannten Aufwerfhämmer, deren Stiel einen einarmigen Hebel bildet. Die Däumlinge ergreifen den Hammerſtiel von unten an einer kurzen Hervorragung deſſelben nahe am Kopfe, und heben den Hammer auf dieſe Weiſe nur wenig in die Höhe, der, ſobald ihn der Däumling verlaſſen hat, niederfällt. Dergleichen Hämmer findet man z. B. in Papiermühlen.

§ 41. Die excentriſche Scheibe.

In vielen zuſammengeſetzten Maſchinen, z. B. in Dampfmaſchinen, Spinnmaſchinen u. ſ. w. wird eine auf- und niedergehende oder hin und her ſpielende Bewegung durch die excentriſche Scheibe bewirkt, d. h. durch eine kreisförmige Scheibe, deren Axe nicht durch den Mittelpunkt geht, ſondern dem Rande (der Peripherie) näher liegt. Wird dieſe Scheibe um ihre Axe gedreht, ſo befindet ſich bald ein größeres, bald ein kleineres Stück derſelben oberhalb der Axe. Legt man nun auf den Umkreis einer ſolchen in Bewegung geſetzten excentriſchen Scheibe einen einarmigen Hebel mit ſeinem freien Ende, ſo wird ſich dieſer fortwährend auf und nieder bewegen, und ſeine Bewegung kann dann in bekannter Weiſe weiter fortgepflanzt werden.



Statt einer kreisförmigen Scheibe wendet man häufig eine herzförmige an, die eine noch gleichförmigere Bewegung erzeugt. In Spinnmaſchinen z. B. iſt es nothwendig, daß die ſenkrecht ſtehenden Spulen an den Spindeln allmählig auf- und niederwärts bewegt werden, damit ſich das Garn gleichmäßig auf dieſelben vertheile. Dies kann auf folgende Weiſe geſchehen.



Digitized by Google

Zwei Spulen stehen mit den beiden Enden eines gleicharmigen Hebels a b in Verbindung, von dessen Umdrehungspunkte c ein senkrechter Arm c d herabgeht. Wird nun dieser Arm durch eine herzförmige excentrische Scheibe e, welche zur Verminderung der Reibung auf ein kleines Röllchen f wirkt, hin und her bewegt, so heben und senken sich die Hebelsarme a c und b c und die mit ihnen verbundenen Spulen wechselsweise. Damit das Röllchen in steter Bewegung mit dem Herzen bleibt, ist an dem entgegengesetzten Hebelsarme ein kleines Gewicht g angebracht.

Wie wichtig die excentrische Scheibe für die Locomotive ist, werden wir § 153. einsehen lernen.

§ 42. Das Schwungrad.

Wenn die Spinnerin den Fußtritt ihres Spinnrädchens niedertritt, so wird mittelst der Leitstange oder des Gaukelmännchens die Kurbel des Rades niedergezogen, und wenn keine andere Kraft thätig wäre, so würde das Rad nach einer halben Umdrehung, sobald die Leitstange ihren tiefsten Stand erreicht hat, stehen bleiben. Ebenso kann die Leitstange nicht wirken, wenn sie an ihrem höchsten Standpunkte angelangt ist. Damit das Rad über diese beiden todten Punkte hinwegkommt, wird es von der Arbeiterin, wenn sie anfängt zu treten, mit der Hand in Schwung gesetzt. In Folge des Beharrungsvermögens (§ 9) setzt das Rad seinen Umschwung fort, und erhält durch das Treten immer neuen Antrieb zu seiner Bewegung. Bei der beträchtlichen Größe des Rades bleibt sein Umschwung ein gleichmäßiger, obgleich die bewegende Kraft ruckweise wirkt. Ein solches Rad, durch welches die Bewegung einer Maschine gleichförmig gemacht (regulirt) wird, heißt ein Schwungrad, und sein Einfluß auf die Regulirung der Bewegung ist um so bedeutender, je größer und schwerer sein Kranz ist.

Manche Maschinen bedürfen keines besonderen Schwungrades, weil sie ohnehin schwere Räder oder Scheiben haben, welche den Dienst eines solchen verrichten. So dienen z. B. die großen Wasserräder der Wassermühle, und noch mehr die

Digitized by Google

beweglichen Mühlsteine (die Läufer) als Schwungräder. Da bei Windmühlen der Druck des Windes sehr ungleichmäßig ist, so macht man ihre Mühlsteine möglichst groß.

An vielen andern Maschinen aber ist das Schwungrad unentbehrlich, so z. B. an den stehenden Dampfmaschinen, deren Einrichtung erst weit später (§ 149 ff) besprochen werden kann. Einstweilen sei nur soviel bemerkt, daß bei ihnen durch die Kraft des Dampfes ein Wagebalken auf und nieder bewegt wird. Von dem einen Ende desselben geht die Leitstange herab, und faßt die Kurbel eines Rades, welches in Umdrehung versetzt werden soll. Nun kann aber diese Leitstange, wie bei dem Spinnrade, in den beiden todten Punkten gar nichts wirken, weil sie mit dem Kurbelarme in gerade Linie kommt, nämlich wenn dieser seinen höchsten und seinen niedrigsten Standpunkt erreicht. Die Maschine würde daher stocken, und wohl gar die Kurbel rückwärts drehen. Durch die Anwendung eines großen, schweren Schwungrades aber wird die Kurbel über die todten Punkte unmerklich hinweggeführt.

Bei der Locomotive ist ein solches Schwungrad nicht erforderlich, denn bei ihr hat die Axe der Mittelräder an jeder Seite eine Kurbel, und wenn die eine an ihren todten Punkten ankommt, erhält die andere gerade einen neuen Anstoß, da die Kurbelarme so gestellt sind, daß der eine wagrecht steht, wenn der andere sich in senkrechter Stellung befindet.

Die Tretscheibe des Töpfers, die Unruhe in der Taschenuhr, ja selbst die kleine hölzerne oder metallne Scheibe (der sogenannte Wirtel) an der Handspindel der Spinnerin wirken als Schwungräder.

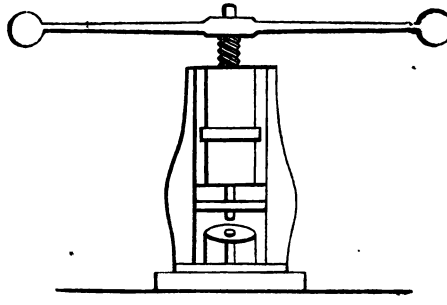
§ 43. Die Schwungkugeln.

Anstatt eines vollständigen Schwungrades sind oft nur zwei Speichen desselben vorhanden, welche einen Hebel mit zwei gleichen Armen bilden, und an ihren Enden mit schweren Kugeln, Schwungkugeln, versehen sind.

Diese Einrichtung findet man z. B. bei der Münzpresse,

Digitized by Google

mittelst deren die Goldstücke geprägt werden. In der starken Unterschwelle des Preßgestelles, dem Prägstocke, ist ein harter, stählerner Stempel befestiget, welcher die eine Seite der zu prägenden Münze darstellt. Ein zweiter Stempel, in welchen die andere Seite der Münze eingegraben (gravirt) ist, ist an der Unterfläche einer sehr starken Schraubenspindel angebracht. Durch den Kopf der Spindel ist ein gleicharmiger langer Hebel gesteckt, der an seinen beiden Enden zentnerschwere Schwungkugeln hat, an denen



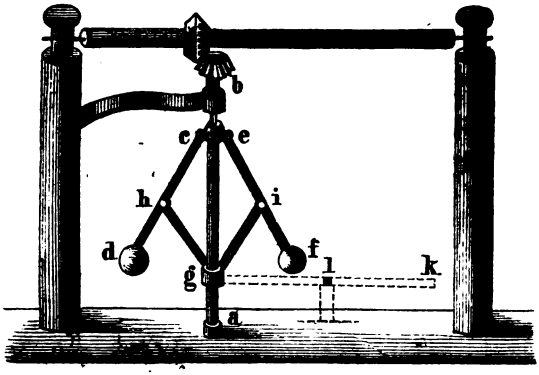
die Arbeiter anfassen, welche die Schraube in Thätigkeit setzen. Sie schwingen den Schwunghebel zunächst rückwärts, damit eine Lücke zwischen dem Prägstocke und der Spindel entsteht; nun legt der Präger eine Münzplatte auf den unteren Stempel, die Arbeiter aber schwingen den Hebel kräftig vorwärts, die Schraubenspindel sinkt auf die Münzplatte mit großer Gewalt herab, und die Prägung ist mittelst eines Schlages auf beiden Seiten vollendet.

Die interessanteste Anwendung der Schwungkraft zur Regulirung einer Bewegung zeigt der Centrifugal-Regulator, auch Geschwindigkeits-Regulator oder kurzweg Regulator genannt, den man bei Dampfmaschinen und mancherlei Mühlwerken anwendet (s. folgende Figur).

Es sei a b eine durch das Räderwerk der Maschine um ihre Axe bewegte Spindel. An dem oberen Theile derselben (b) sind durch Scharniere zwei Stangen c d und e f angebracht, welche an ihren unteren Enden schwere eiserne Kugeln tragen, und von denen sich die eine nach rechts, die andere nach links von der

Digitized by Google

Spindel a b entfernen kann. Die beiden Stangen c d und e f sind durch die Stäbe h g und i g, welche bei h, i und g Gelenke haben, mit einer die Spindel a b umgebenden Hülse g verbunden, welche ganz willig an der Spindel auf- und abgleiten kann.

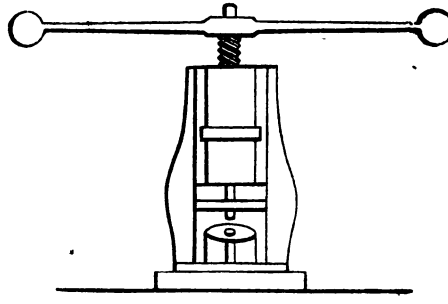


Steht die Spindel still, so liegen die Stangen an derselben an, und die Hülse g hat den tiefsten Stand. Wird aber die Spindel bewegt, so gehen die Stangen aus einander, die Kugeln entfernen sich vermöge der Schwungkraft von einander und die Hülse g steigt empor. Dies Alles erfolgt in so bedeutenderem Maaße, je größer die Geschwindigkeit der Umdrehung ist. Vermindert sich dagegen die Umdrehungsgeschwindigkeit, so nähern sich die Kugeln einander, und die Hülse g sinkt herab. So kann man an der größeren oder geringeren Entfernung der Kugeln, und noch genauer, wenn sich an der Spindel eine Eintheilung in gleiche Theile (eine Scala) befindet, an der Hülse g beobachten, welchen Grad der Geschwindigkeit die Maschine habe.

Allein der Regulator hat außer dem Zwecke, die Geschwindigkeit anzuzeigen, noch den wichtigeren, sie zu reguliren, d. h. er soll sie mäßigen, wenn sie zu groß, und sie beschleunigen, wenn sie zu klein geworden ist. Zu diesem Behufe ist mit der Hülse g ein zweiarmiger Hebel g k verbunden, der seinen Um-

Digitized by Google

mittelst deren die Goldstücke geprägt werden. In der starken Unterschwelle des Preßgestelles, dem Prägstocke, ist ein harter, stählerner Stempel befestiget, welcher die eine Seite der zu prägenden Münze darstellt. Ein zweiter Stempel, in welchen die andere Seite der Münze eingegraben (gravirt) ist, ist an der Unterfläche einer sehr starken Schraubenspindel angebracht. Durch den Kopf der Spindel ist ein gleicharmiger langer Hebel gesteckt, der an seinen beiden Enden zentnerschwere Schwungkugeln hat, an denen



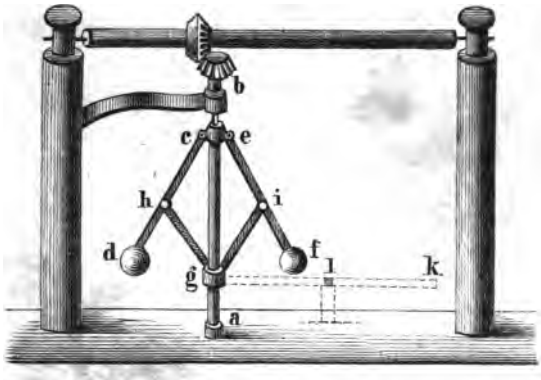
die Arbeiter anfassen, welche die Schraube in Thätigkeit setzen. Sie schwingen den Schwunghebel zunächst rückwärts, damit eine Lücke zwischen dem Prägstocke und der Spindel entsteht; nun legt der Präger eine Münzplatte auf den unteren Stempel, die Arbeiter aber schwingen den Hebel kräftig vorwärts, die Schraubenspindel sinkt auf die Münzplatte mit großer Gewalt herab, und die Prägung ist mittelst eines Schlages auf beiden Seiten vollendet.

Die interessanteste Anwendung der Schwungkraft zur Regulirung einer Bewegung zeigt der Centrifugal-Regulator, auch Geschwindigkeits-Regulator oder kurzweg Regulator genannt, den man bei Dampfmaschinen und mancherlei Mühlwerken anwendet (s. folgende Figur).

Es sei a b eine durch das Räderwerk der Maschine um ihre Axe bewegte Spindel. An dem oberen Theile derselben (b) sind durch Scharniere zwei Stangen c d und e f angebracht, welche an ihren unteren Enden schwere eiserne Kugeln tragen, und von denen sich die eine nach rechts, die andere nach links von der

Digitized by Google

Spindel a b entfernen kann. Die beiden Stangen c d und e f sind durch die Stäbe h g und i g, welche bei h, i und g Gelenke haben, mit einer die Spindel a b umgebenden Hülse g verbunden, welche ganz willig an der Spindel auf- und abgleiten kann.



Steht die Spindel still, so liegen die Stangen an derselben an, und die Hülse g hat den tiefsten Stand. Wird aber die Spindel bewegt, so gehen die Stangen aus einander, die Kugeln entfernen sich vermöge der Schwungkraft von einander und die Hülse g steigt empor. Dies Alles erfolgt in so bedeutenderem Maaße, je größer die Geschwindigkeit der Umdrehung ist. Vermindert sich dagegen die Umdrehungsgeschwindigkeit, so nähern sich die Kugeln einander, und die Hülse g sinkt herab. So kann man an der größeren oder geringeren Entfernung der Kugeln, und noch genauer, wenn sich an der Spindel eine Eintheilung in gleiche Theile (eine Scala) befindet, an der Hülse g beobachten, welchen Grad der Geschwindigkeit die Maschine habe.

Allein der Regulator hat außer dem Zwecke, die Geschwindigkeit anzuzeigen, noch den wichtigeren, sie zu reguliren, d. h. er soll sie mäßigen, wenn sie zu groß, und sie beschleunigen, wenn sie zu klein geworden ist. Zu diesem Behufe ist mit der Hülse g ein zweiarmiger Hebel g k verbunden, der seinen Um-

Digitized by Google

drehungspunkt in l hat. Hebt sich nun bei großer Geschwindigkeit die Bewegung der Hülse g, so sinkt das Hebelende k, sinkt g dagegen bei langsamer Bewegung, so steigt k.

Es ist nun leicht einzusehen, wie vortheilhaft diese Bewegung des Punktes k zur Regulirung der Bewegung der Maschine benutzt werden kann. Befände sich z. B. der Regulator an einer Wassermühle, deren Werk wegen ungleichmäßiger Wasserkraft bald rascher, bald langsamer bewegt würde, so dürfte man nur mit k die Schütze verbinden, welche den Zutritt des Wassers mehr oder weniger gestattet, je nachdem sie mehr oder weniger gehoben wird. Steigt dann die Hülse g bei zu großer Wassermenge, so sinkt k mit der Schütze, und es kann weniger Wasser auf das Rad wirken, die Bewegung wird mithin eine langsamere werden; geht das Mühlwerk zu langsam, so sinkt g, während k steigt und die Schütze hebt, so daß mehr Wasser-Zutritt erhält, und die Geschwindigkeit gesteigert wird.

Noch häufiger als bei Wassermühlen findet man den Centrifugal-Regulator bei Dampfmaschinen angewendet, bei denen mittelst des Hebels gk dem Dampfe der Zutritt in größerem oder geringerem Grade gestattet werden kann, indem der Hebel eine Klappe (ein Ventil) des Dampfrohres mehr oder weniger öffnet.

§ 44. Das Pendel als Regulator der großen Thurm- und Wanduhren.

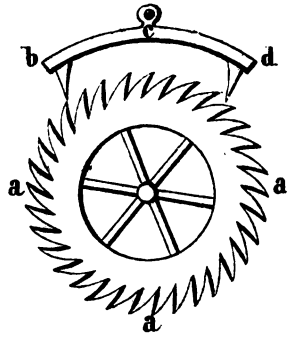
Wir haben (§ 18) das Pendel und die Gesetze seiner Schwingungen kennen gelernt, und führen uns zunächst dieselben noch einmal vor.

In großen Uhren, z. B. Thurm- und Wanduhren wird die Bewegung des Räderwerkes durch die Schwerkraft erzeugt. Ein Gewicht hängt an einer Schnur oder Kette, welche um die Welle eines Rades geschlungen ist, und indem das Gewicht, dem Gesetze der Schwere folgend, abwärts sinkt, wird die Welle vermöge der Reibung der Schnur um ihre Axe gedreht. Diese Bewegung würde aber keine gleichmäßige, sondern eine mehr und mehr beschleunigte sein, da das Gewicht, wie alle fallenden

Digitized by Google

Körper (§ 14) je länger, je schneller sinken müßte. Eine solche Bewegung würde aber das Uhrwerk für seinen Zweck, gleichmäßige Zeitabschnitte abzumessen, untauglich machen; sie muß daher regulirt werden. Dies geschieht durch die Hemmung, welche durch ein Pendel (Perpendikel) und einen mit demselben verbundenen Anker bewirkt wird.

An dem letzten Getriebe der Uhr befindet sich das mit schrägen Zähnen versehene Hemmungs- oder Steigrad aa, welches in Folge der Kraft des Gewichtes gleich dem ganzen Räderwerke umläuft. Nun liegt aber über diesem Rade ein an der Welle c festsitzender stählerner Bogen bd, der Anker, dessen Enden b und d haken- oder zahnförmig gebogen sind, und abwechselnd zwischen die Zähne des Steigrades eingreifen. Dieses wird dadurch in seinem freien Umlaufe gehemmt, und kann nur ruckweise fortschreiten. Damit das Eingreifen des Ankers in gleichen Zeiträumen stattfinde, ist derselbe mit einem Pendel verbunden. Von der Welle, an der sich der Anker befindet, geht nämlich ein Arm senkrecht herab, der unten eine wagrechte Gabel hat. In diese Gabel, welche eine hin und her gehende Bewegung macht, wird die Stange des an einem festen Punkte aufgehängten Pendels gelegt. (Durch Anschauung dieser Theile an einer Wanduhr wird das Gesagte klarer werden.) Ist das Pendel einmal in Schwingung gesetzt, so schwingt es mit gleichmäßiger Geschwindigkeit fort, indem es durch die Gabel stets aufs Neue angestoßen wird, und regulirt durch seine sich gleichbleibenden Schwingungen das Spiel des Ankers, mithin die Bewegung des Steigrades und somit der ganzen Uhr.

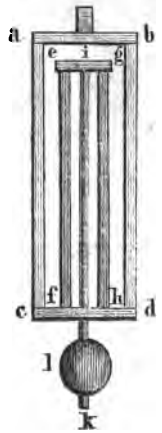


Aber auch das Pendel hat seine Unvollkommenheiten, da die Stange desselben durch Wärme ausgedehnt, also verlängert wird, während sie sich bei kalter Witterung verkürzt. Ein längeres

Digitized by Google

Pendel schwingt aber bekanntlich langsamer, daher bleiben Pendeluhren im Sommer zurück und eilen im Winter vor.

Um diesem Uebelstande abzuhelfen, macht man für gute Uhren die Pendelstangen aus sehr trockenem, in Oel gesottenen Holze. Noch besser sind die Rost- oder Compensationspendel. Der Rahmen abcd ist von Eisen. Auf seinem unteren Querriegel cd sind zwei senkrechte Stangen ef und gh befestiget, welche aus einem andern sich doppelt so stark ausdehnenden Metalle (gewöhnlich Messing) bestehen, und oben den Querriegel eg haben, von welchem der eiserne Stab ik herabgeht, der die Linse l trägt. Verlängern sich nun in der Wärme die eisernen Stäbe ac und bd nach unten, so würde die Linse sinken; zu gleicher Zeit verlängern sich aber die Stäbe von Messing ef und gh nach oben, und heben dieselbe wieder empor. Dehnt sich z. B. bei einem gewissen Wärmegrade das Eisen um eine, das Messing um zwei Linien aus, so wird durch die Ausdehnung von ac und bd der Querriegel cd, folglich auch eg um eine Linie herabsinken; da sich aber auch ik um eine Linie verlängert, so sinkt die Linse l um zwei Linien herab. Dagegen dehnen sich die Stäbe ef und gh um zwei Linien nach oben, und heben den Riegel eg, welcher die Stange ik mit der Linse trägt, um eben so viel; der Fehler ist somit ausgeglichen (compensirt).



Geht eine Pendeluhr zu langsam, so schiebt man die Linse an der Pendelstange etwas aufwärts; dadurch wird das Pendel und seine Schwingungszeit verkürzt; eilt die Uhr vor, so schiebt man die Linse abwärts.

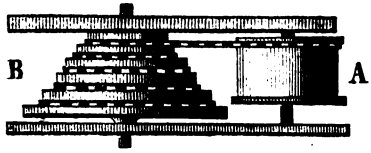
§ 45. Die Schnecke und die Unruhe als Regulatoren der Taschenuhren.

Das Werk der Taschenuhr wird durch eine elastische Feder in Gang gebracht (§ 10).

Digitized by Google

Diese **Uhrfeder** ist ein dünner, langer und schmaler Streifen Stahl, der spiralförmig um sein inneres, unbeweglich befestigtes Ende gewunden ist. Faßt man das äußere, freie Ende an, und bewegt es in der Richtung des Pfeiles vorwärts, so ziehen sich die Windungen der Feder enger zusammen. Die auf diese Weise **gespannte** Feder hat das Bestreben, ihre vorige Lage wieder einzunehmen, und thut dies plötzlich, sobald man sie losläßt, oder allmählig, wenn sich ihr ein Hinderniß entgegenstellt, welches sie zu überwinden vermag.

In der Taschenuhr ist die Uhrfeder in einem hohlen, walzenförmigen, mit einem Deckel verschlossenen Gehäuse, dem **Federhause** oder der **Trommel** A eingeschlossen. Die Trommel hat eine unbewegliche senkrechte Welle, um welche sie sich drehen kann. An diese Welle ist das innere Ende der Feder angehängt; das äußere Ende aber ist an die innere Wand der Trommel befestiget. Wird nun die Trommel, wie es beim Aufziehen der Uhr geschieht, mehrmals um ihre Axe gedreht, so daß die Feder gespannt wird, so hat letztere das Bestreben, wieder in ihre vorige Gestalt zurückzukehren, wobei sie die Trommel (aber nicht deren Welle) mit fortnimmt.

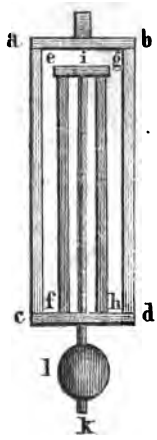


Die Ausdehnung der gespannten Feder und die dadurch bewirkte Umdrehung der Trommel erfolgt aber ganz ungleichmäßig; denn anfangs, wenn die Feder stark gespannt ist, wirkt sie mit großer Kraft, je mehr aber ihre Spannung nachläßt, desto unkräftiger ist sie. Daher muß man diesen Fehler auszugleichen, und die Bewegung zu reguliren suchen. Dies geschieht zunächst durch die sogenannte **Schnecke** B, einen Kegel von Messing, um welchen sich eine schiefe Ebene schneckenförmig windet. Trommel und Schnecke sind durch eine **Gelenkkette** (§ 36) verbunden, die an jedem Ende ein Häkchen hat, mit welchem sie eingehakt wird.

Digitized by Google

Pendel schwingt aber bekanntlich langsamer, daher bleiben Pendeluhren im Sommer zurück und eilen im Winter vor. -

Um diesem Uebelstande abzuhelfen, macht man für gute Uhren die Pendelstangen aus sehr trockenem, in Oel gesottenen Holze. Noch besser sind die Rost- oder Compensationspendel. Der Rahmen abcd ist von Eisen. Auf seinem unteren Querriegel cd sind zwei senkrechte Stangen ef und gh befestiget, welche aus einem andern sich doppelt so stark ausdehnenden Metalle (gewöhnlich Messing) bestehen, und oben den Querriegel eg haben, von welchem der eiserne Stab ik herabgeht, der die Linse l trägt. Verlängern sich nun in der Wärme die eisernen Stäbe ac und bd nach unten, so würde die Linse sinken; zu gleicher Zeit verlängern sich aber die Stäbe von Messing ef und gh nach oben, und heben dieselbe wieder empor. Dehnt sich z. B. bei einem gewissen Wärmegrade das Eisen um eine, das Messing um zwei Linien aus, so wird durch die Ausdehnung von ac und bd der Querriegel cd, folglich auch eg um eine Linie herabsinken; da sich aber auch ik um eine Linie verlängert, so sinkt die Linse l um zwei Linien herab. Dagegen dehnen sich die Stäbe ef und gh um zwei Linien nach oben, und heben den Riegel eg, welcher die Stange ik mit der Linse trägt, um eben so viel; der Fehler ist somit ausgeglichen (compensirt).



Geht eine Pendeluhr zu langsam, so schiebt man die Linse an der Pendelstange etwas aufwärts; dadurch wird das Pendel und seine Schwingungszeit verkürzt; eilt die Uhr vor, so schiebt man die Linse abwärts.

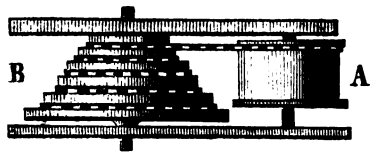
§ 45. Die Schnecke und die Unruhe als Regulatoren der Taschenuhren.

Das Werk der Taschenuhr wird durch eine elastische Feder in Gang gebracht (§ 10).

Digitized by Google

Diese Uhrfeder ist ein dünner, langer und schmaler Streifen Stahl, der spiralförmig um sein inneres, unbeweglich befestigtes Ende gewunden ist. Faßt man das äußere, freie Ende an, und bewegt es in der Richtung des Pfeiles vorwärts, so ziehen sich die Windungen der Feder enger zusammen. Die auf diese Weise gespannte Feder hat das Bestreben, ihre vorige Lage wieder einzunehmen, und thut dies plötzlich, sobald man sie losläßt, oder allmählig, wenn sich ihr ein Hinderniß entgegenstellt, welches sie zu überwinden vermag.

In der Taschenuhr ist die Uhrfeder in einem hohlen, walzenförmigen, mit einem Deckel verschlossenen Gehäuse, dem Federhause oder der Trommel A eingeschlossen. Die Trommel hat eine unbewegliche senkrechte Welle, um welche sie sich drehen kann. An diese Welle ist das innere Ende der Feder angehängt; das äußere Ende aber ist an die innere Wand der Trommel befestiget. Wird nun die Trommel, wie es beim Aufziehen der Uhr geschieht, mehrmals um ihre Axe gedreht, so daß die Feder gespannt wird, so hat letztere das Bestreben, wieder in ihre vorige Gestalt zurückzukehren, wobei sie die Trommel (aber nicht deren Welle) mit fortnimmt.



Die Ausdehnung der gespannten Feder und die dadurch bewirkte Umdrehung der Trommel erfolgt aber ganz ungleichmäßig; denn anfangs, wenn die Feder stark gespannt ist, wirkt sie mit großer Kraft, je mehr aber ihre Spannung nachläßt, desto unkräftiger ist sie. Daher muß man diesen Fehler auszugleichen, und die Bewegung zu reguliren suchen. Dies geschieht zunächst durch die sogenannte Schnecke B, einen Kegel von Messing, um welchen sich eine schiefe Ebene schneckenförmig windet. Trommel und Schnecke sind durch eine Gelenkkette (§ 36) verbunden, die an jedem Ende ein Häkchen hat, mit welchem sie eingehakt wird.

Digitized by Google

Denken wir uns nun die Kette an die Außenseite der Trommel gehakt, wenn die in derselben eingeschlossene Feder die stärkste Spannung hat, so ist die Schnecke von ihrer größten Umfangslinie an, wo das zweite Ende der Kette befestiget ist, bis zu ihrer Spitze hin mit der Kette vollgewunden, so daß diese in gerader Linie von dem kleinsten Umfangskreise der Schnecke an zu der Trommel geht, auf welcher sich in diesem Augenblicke noch nichts von der Kette aufgewickelt hat. Nun fängt die Trommel an sich zu drehen, und nöthigt durch die Kette auch die Schnecke, dieselbe Bewegung zu machen, wobei sich ein Glied der Kette nach dem andern von der Schnecke ab- und auf die Trommel aufwindet, bis die Trommel voll, die Schnecke leer geworden ist, und die Bewegung aufhört. Das Werk ist nun abgelaufen, und muß, wenn es wieder in Bewegung kommen soll, mittelst des Uhrschlüssels aufgezogen werden. Der Zapfen, auf welchen der Uhrschlüssel gesteckt wird, ist das Ende der Welle der Schnecke; bei dem Aufziehen wird daher die Schnecke so herumgedreht, daß sich die Kette auf sie windet, während durch die gleichzeitig mittelst der Kette bewirkte Umdrehung der Trommel die Feder aufs Neue gespannt wird.

Wir haben nun gesehen, wie die Uhrfeder die Trommel, diese aber vermittelst der Kette die Schnecke in Bewegung setzt; es bleibt uns zunächst zu erwägen, inwiefern die Schnecke regulirend auf die ursprünglich ungleichmäßige Bewegung einwirkt.

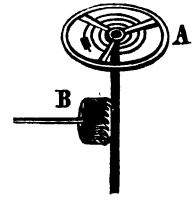
Wenn die Uhr so eben aufgezogen, die Feder mithin aufs schärfste gespannt und die Kette bis zum Gipfel der Schnecke aufgewunden ist, so wirkt die Feder mittelst der Kette mit voller Kraft an der obersten, kleinsten Windung der Schnecke, also gleichsam an einem kleineren Hebelsarme. Je mehr die Kraft der Feder nachläßt, an desto größeren Windungen, also [illegible] längeren Hebelsarmen, arbeitet sie mittelst der Kette, wo[illegible] den bekannten Hebelgesetzen immer weniger Kraft erfordert wird.

Die ziemlich gleichmäßige Bewegung der Schnecke th[illegible] einem an derselben Welle befindlichen gezahnten Rade mit,

Digitized by Google

nun in bekannter Weise durch mehrere Getriebe und gezahnte Räder die Bewegung weiter fortpflanzt. Wie diese Bewegung mittelst bestimmter Verhältnisse in den Zahlen der Zähne der Getriebe und Räder ganz genau bestimmt werden kann, haben wir bereits (§ 37) einsehen gelernt.

Die genauere Regulirung des Ganges der Uhr aber wird durch die Unruhe bewirkt, welche bei der Taschenuhr dieselben Dienste leistet, wie das Pendel bei der Wand- oder Thurmuhr. Die Unruhe A ist ein wagrechtes Schwungrad, welches jedoch nicht zum Kreislaufe, sondern gleich einem Pendel zum Hin- und Herschwingen bestimmt ist. Die senkrechte Welle der Unruhe hat zwei hervorragende Lappen oder Flügel, welche durch die Zähne eines Kronenrades (des Hemmungs- oder Steigrades B) abwechselnd angestoßen werden, und das Hin- und Herschwingen der Unruhe (und zugleich das Ticken der Uhr) bewirken. Das Steigrad, welches seine Bewegung von der im Federhause eingeschlossenen großen Feder mittelst des Räderwerkes erhält, würde ohne das Eingreifen dieser Flügel mit ungleichmäßiger Geschwindigkeit frei umlaufen; nun aber liegt bald der eine, bald der andere Flügel zwischen zweien seiner Zähne, so daß es fortwährend gehemmt und wieder frei gelassen wird, also nur ruckweise fortschreiten kann.



Damit nun aber dieses wechselweise Eingreifen der Flügel gleichmäßig erfolge, befindet sich innerhalb der Unruhe eine feine elastische Spiralfeder, deren äußeres Ende an der Uhrplatte festsitzt, während das innere an der Axe der Unruhe befestiget ist. Wird nun die Unruhe durch das Anstoßen der Steigradszähne an die Flügel ihrer Welle in Bewegung gesetzt, so zieht sich die Spiralfeder abwechselnd aus einander und wieder zusammen, und erzeugt, indem dies gleichmäßig geschieht, die Gleichförmigkeit in dem Gange der Uhr. — Durch das Drehen an der Stellscheibe kann man die Spiralfeder verlängern oder

Digitized by Google

verkürzen, und dadurch den Gang der Uhr verzögern oder beschleunigen.

§ 46. Rückblick.

Ueberblicken wir nun den bis jetzt durchlaufenen Weg, um eine Uebersicht der gewonnenen Kenntnisse zu erlangen.

Wir lernten zuerst (§ 3) die **Schwerkraft** kennen, welche mit unsichtbaren Banden den ganzen Weltbau zusammenhält, und, sofern wir unsern Blick nur auf unsere Erde richten, alle ihr angehörenden Körper nach ihrem Mittelpunkte hinzieht.

Als erste Wirkung der Schwerkraft stellte sich uns (§ 4) die senkrechte Richtung des Lothes dar, mit Hülfe dessen wir durch die Grund- oder Setzwage (§ 5) auch die wagrechte Richtung bestimmen lernten. Wir sahen (§ 6), daß der Druck, den die Körper auf ihre Unterlage ausüben, gleichfalls von der Schwerkraft herrühre. Hierauf wurde uns (§ 7) gezeigt, daß ein Körper so lange nicht fällt, als sein Schwerpunkt senkrecht über dem Unterstützungspunkte oder der Unterstützungsfläche liegt.

Indem wir (§ 8) auf die Betrachtung der **Bewegung der Körper** eingingen, wurden uns (§ 9) diejenigen Erscheinungen vorgeführt, welche aus dem Beharrungsgesetze entspringen. Nachdem wir (§ 10) die verschiedenen Ursachen der Bewegung ins Auge gefaßt hatten, belehrte uns § 11. über die Kraft, mit welcher ein bewegter Körper wirkt, über die sogenannte Größe seiner Bewegung, welche von Geschwindigkeit und Masse abhängig ist. Bei der Lehre von der Richtung der Bewegung (§ 12) erwogen wir besonders die Fälle, wenn mehrere bewegende Kräfte zugleich thätig sind, und lernten das Parallelogramm der Kräfte kennen, in dessen Diagonale sich ein Körper bewegt, wenn zwei Kräfte unter einem Winkel auf ihn einwirken. Als wesentlichstes Hinderniß der Bewegung stellte sich uns (§ 13) die Reibung dar, deren große Nützlichkeit uns aber gleichzeitig klar wurde.

Nunmehr gingen wir auf verschiedene besonders wichtige **Arten der Bewegung** ein, und lernten vor Allem (§ 14)

Digitized by Google

die Gesetze für den freien Fall der Körper kennen, der sich uns als ein regelmäßig beschleunigter darstellte. § 15. zeigte uns, daß ein senkrecht in die Höhe geworfener Körper eben so lange steigt, als fällt; § 16. belehrte uns über die Bogenlinien, in denen sich wagrecht oder schräg geworfene Körper bewegen. Von der durch die Centralkräfte bewirkten Kreisbewegung handelte § 17; von den Bewegungen des Pendels § 18; von dem Stoße unelastischer Körper § 19.

Als **einfache Maschinen,** durch deren Anwendung wir entweder auf Kosten der Zeit Kraft ersparen, oder auf Kosten der Kraft Zeit gewinnen, lernten wir (§ 20—35) den Hebel, die Rolle, das Rad an der Welle, — die schiefe Ebene, den Keil und die Schraube kennen.

Der **Hebel** (§ 20—24) trat uns zunächst in der gemeinen Krämerwage (§ 20) als ein zweiarmiger und gleicharmiger entgegen; sodann lernten wir (§ 21) den zweiarmigen, ungleicharmigen Hebel als Kraftsparer und in seiner Benutzung zur Schnellwage kennen, überzeugten uns aber (§ 22), daß dem mechanischen Vortheil stets ein eben so großer mechanischer Nachtheil gegenüberstehe. Den einarmigen Hebel (§ 23) sahen wir bald zur Ersparung an Kraft, bald zur Ersparung an Zeit benutzt. Als eine Verbindung mehrerer Hebel stellte sich uns (§ 24) die Brückenwage dar, nach der wir, weil wir gerade von Wagen sprachen, der Ziehwage (§ 25) gedachten.

Die **Rolle** (§ 26—29) zog theils als feste (§ 26), theils als bewegliche (§ 27), theils in ihrer Verwendung zu Flaschenzügen (§§ 28. 29) unsere Aufmerksamkeit auf sich.

Das **Rad an der Welle** (§ 30) machte den Beschluß der zu der Gruppe des Hebels gehörenden einfachen Maschinen. Nach einem Rückblicke auf diese (§ 31) folgte:

Die **schiefe Ebene** (§ 32), der **Keil** (§ 33) und die **Schraube** (§ 34), welche zusammen die zweite Gruppe der einfachen Maschinen bilden.

40687 Digitized by Google

§ 35. ließ uns noch einmal auf die sechs einfachen Maschinen zurückblicken, und kündigte sodann die **Mittel zur Fortleitung und Veränderung einer Bewegung** an, als welche wir die Schnur ohne Ende (§ 36), die gezahnten Räder (§ 37), die gezahnte Stange (§ 38), den Krummzapfen mit der Leitstange (§ 39), die Daumenwelle (§ 40) und die excentrische Scheibe (§ 41) kennen lernten.

Als **Regulatoren der Bewegung** wurden uns das Schwungrad (§ 42), die Schwungkugeln, besonders in ihrer Anwendung zu dem Centrifugal-Regulator (§ 43), das Pendel (§ 44) und die Schnecke der Taschenuhr nebst der mit der Spiralfeder verbundenen Unruhe (§ 45) dargestellt.

Zu einer Prüfung, ob wir alles Besprochene verstanden und uns zu eigen gemacht haben, folgen nun:

§ 47. Fragen und Aufgaben zur Wiederholung.

1. Wie viele Ausdehnungen (Dimensionen) hat jeder Körper?
2. In welche drei Abtheilungen zerfallen die Körper ihrer Zusammenhangsform (Aggregatsform) nach?
3. Welches sind die Merkmale eines festen (starren), eines tropfbarflüssigen und eines luftförmigen Körpers?
4. In welchen Merkmalen stimmen tropfbar-flüssige und luftförmige Körper mit einander überein, und worin sind sie verschieden?
5. Woraus erkennt man das Bestreben der luftförmigen Körper, sich in einen immer größeren Raum auszudehnen?
6. Warum fällt jeder irdische Körper, wenn er nicht unterstützt wird, zu Boden?
7. Wie tief würde er fallen, wenn ein Loch mitten durch die Erde hindurchginge?
8. In welcher Richtung fällt er?
9. Wodurch bestimmt der Handwerker die senkrechte, wodurch die wagrechte Richtung?
10. Warum übt jeder Körper, der auf einem andern liegt, einen Druck auf seine Unterlage aus?
11. Wovon hängt das Gewicht der Körper ab?
12. Was ist schwerer, ein Pfund Blei oder ein Pfund Federn?
13. Wie benutzt man den Druck, welchen die Körper auf ihre Unterlag ausüben?

Digitized by Google

14. Was ist der Schwerpunkt eines Körpers?
15. Wie kann man einen Körper in einem einzigen Punkte unterstützen?
16. Worauf beruhen die Balancirkünste?
17. Warum kann man einen Degen leichter auf seiner Spitze als auf dem Griffe balanciren?
18. Wo liegt der Schwerpunkt eines Ringes?
19. Bei welchen andern Körpern liegt der Schwerpunkt ebenfalls außerhalb ihrer Masse?
20. Was thut man, wenn ein Körper fest stehen soll?
21. Welcher Tisch steht fester, der dreibeinige oder der vierbeinige?
22. Warum werden die Beine der Stühle, Bänke und Schemel gewöhnlich ausgespreizt oder doch nach unten ausgeschweift?
23. Warum stehen die Matrosen bei ihren Arbeiten mit ausgespreizten Beinen?
24. Warum biegen wir uns, wenn wir auf einem Beine stehen wollen, nach der Seite desselben hin?
25. Warum biegen wir uns, wenn wir in einer Hand eine Last tragen, nach der entgegengesetzten Seite?
26. Welche Bewegungen machen wir, wenn wir von einem Stuhle aufstehen wollen?
27. Welche Stellung muß man einem Menschen geben, damit er den rechten Fuß nicht aufheben könne?
28. Was nützt dem Seiltänzer die Balancirstange?
29. Warum soll man nicht aufstehen, wenn der Wagen zur Seite hängt?
30. Wie sind die Stehaufmännchen eingerichtet?
31. Warum fällt der tanzende Kreisel nicht um?
32. Welche Lage nimmt ein an einem Punkte aufgehängter Körper an?
33. Gieb Beispiele von Körpern an, welche sich nur scheinbar bewegen!
34. Nenne andere, welche sich in scheinbarer Ruhe befinden!
35. Wie lautet das Beharrungsgesetz?
36. Warum schwanken wir vorwärts, wenn wir auf einem schnell fahrenden Wagen sitzen, sobald derselbe plötzlich angehalten wird?
37. Warum spritzt die Dinte fort, wenn die Feder beim Schreiben hängen bleibt?
38. Wie macht man den lose gewordenen Stiel einer Axt oder eines Hammers fest?
39. Fällt der Schlittschuhfahrer aufs Gesicht oder auf den Rücken, wenn er im schnellsten Laufe mit den Schlittschuhen an ein Hinderniß stößt?
40. Warum fällt die Asche einer Cigarre ab, wenn wir mit der Cigarre an einen Finger klopfen?
41. Nenne Ursachen, durch welche Bewegungen hervorgebracht werden!

Digitized by Google

42. Wie kann man mit demselben Stocke unfühlbare und schmerzhafte Schläge austheilen?
43. Welche Kugel wirkt kräftiger, eine 10pfündige, die in der Secunde 1000 Fuß durchfliegt, oder eine 20pfündige, die in der Secunde 500 Fuß zurücklegt?
44. Wovon hängt die Kraft ab, mit welcher ein bewegter Körper einen andern trifft?
45. Warum steuert man stromaufwärts, wenn man beim Uebersetzen über einen Fluß gerade an dem dem Abfahrtspunkte gegenüber liegenden Punkte ankommen will?
46. Warum kommt der vom Sattel seines im schnellsten Laufe befindlichen Pferdes senkrecht emporspringende Kunstreiter wieder auf den Sattel zu stehen?
47. In welcher Richtung bewegt sich ein Körper, auf welchen zwei bewegende Kräfte unter einem Winkel einwirken?
48. Welches ist das Haupthinderniß der Bewegung?
49. Woher rührt die Reibung?
50. Wie offenbart sich der Nutzen der Reibung?
51. Warum gleitet uns der Aal leicht aus den Händen?
52. Warum schmiert man die Axen der Räder und die Zapfen der Wellen?
53. Warum fährt man nicht im Sommer zu Schlitten?
54. Was nützt der Hemmschuh?
55. Warum zieht ein Pferd auf einer Eisenbahn weit mehr, als auf einer Landstraße?
56. Wie ist es zu verstehen, wenn man sagt: alle Körper sind gleich schwer?
57. Warum fallen nicht alle Körper gleich schnell?
58. Warum ist es gefährlich, von einem kleinen Körper getroffen zu werden, der von einer bedeutenden Höhe herabfällt?
59. Warum wirkt der Bär der Ramme kräftiger, wenn er höher gehoben wird?
60. Was für eine Bewegung hat ein frei fallender Körper?
61. Wie lauten die Gesetze für den freien Fall der Körper?
62. Wieviel Fuß durchfällt ein Körper in der sechsten Secunde seines freien Falles?
63. Wie tief ist ein Schacht, in den ein Stein in vier Secunden hinabfällt?
64. Wie hoch ist ein senkrecht in die Höhe geworfener Körper gestiegen, wenn er vier Secunden ausgeblieben ist?
65. Wie hoch steigt ein mit einer Geschwindigkeit von 450 Fuß senkrecht empor getriebener Körper?
66. Warum zielt der Schütze nach einem entfernten Gegenstande höher, als nach einem nahen?

Digitized by Google

67. Ein Jäger steht auf einem erhöhten Standpunkte und schließt aus dem wagrecht gehaltenen Gewehre, welches sich 15 Fuß über dem Erdboden befindet, eine Kugel ab, welche in der Secunde 800 Fuß durchfliegt; in welcher Zeit und in welcher Entfernung von dem Jäger fällt dieselbe auf den Boden, vorausgesetzt, daß dieser völlig eben sei?
68. Welche beiden Kräfte sind bei der Bewegung des Mondes um die Erde hauptsächlich thätig?
69. Warum biegen sich Carousselreiter nach innen?
70. Warum ist die Erde am Aequator am stärksten gewölbt?
71. Wie heißen die Gesetze für die Bewegung des Pendels?
72. Wie lang muß bei uns ein Secundenpendel sein?
73. Wie bestimmt man das Tempo eines Musikstückes mittelst des Fadenpendels?
74. Was geschieht, wenn zwei unelastische Körper von gleicher Masse mit gleicher Geschwindigkeit von entgegen gesetzten Richtungen her einander treffen?
75. Wie verhalten sich unter gleichen Umständen zwei elastische Körper?
76. Was erfolgt, wenn zwei Körper von gleicher Masse einander entgegen kommen, von denen der erste eine Geschwindigkeit von 12, der andere eine von 8 Fuß hat, wenn die Körper unelastisch sind? Was aber wenn sie elastisch sind?
77. Was erfolgt, wenn ein ruhender elastischer Körper von einem andern elastischen von gleicher Masse in der Richtung nach seinem Mittelpunkte angestoßen wird?
78. Wohin läuft der Billardball, der unter einem Winkel von 45 Grad an den Rand des Billards angespielt wird?
79. Beschreibe eine gewöhnliche Kaufmannswage!
80. Warum muß die Axe des Wagebalkens, mittelst deren er in der Scheere hängt, oberhalb seiner Mitte angebracht sein?
81. Was ist ein Hebel mit zwei gleichen Armen?
82. Wann ist der gleicharmige Hebel im Gleichgewicht?
83. An welchem Arme eines Hebels mit zwei ungleichen Armen muß die Kraft wirken, wenn Kraft gespart werden soll — an welchem aber, wenn Zeit gespart werden soll?
84. Warum giebt man manchen Zangen sehr lange Griffe?
85. Was versteht man unter statischen Momenten?
86. Wie heißt das allgemeine Hebelgesetz?
87. Beschreibe die Schnellwage!
88. was versteht man unter mechanischem Vor- und Nachtheil?
89. Wohin muß man bei einer Schubkarre die Last legen, um so wenig Kraft als möglich zu gebrauchen?

Digitized by Google

90. Warum steckt man einen Stab durch den Ring des Schlüssels, wenn man ein verrostetes Schloß öffnen will?
91. Wo muß die Last liegen, wenn eine starke und eine schwache Person dieselbe auf einer Trage fortschaffen sollen?
92. Bei welchen Werkzeugen verwendet man überflüssige Kraft an einem Hebel, um große Geschwindigkeit zu erzielen?
93. Wie sind die Muskeln am menschlichen Arme angeheftet?
94. Beschreibe eine Brückenwage!
95. Beschreibe eine Ziehwage!
96. Was ist eine Rolle?
97. Welche beiden Arten von Rollen giebt es?
98. Wozu dient die feste Rolle?
99. Was nützt die bewegliche Rolle?
100. Was ist ein Flaschenzug?
101. Wieviel wirkt der Potenz-Flaschenzug, und wieviel der gemeine?
102. Bei welchen Maschinen findet man das Rad an der Welle?
103. Was ist eine Kurbel?
104. Was ist ein Göpel (eine Gangspille)?
105. Was ist eine Haspel (Bratspille)?
106. Wie lautet das Hebelgesetz in seiner Anwendung auf das Rad an der Welle?
107. Was nützt die Schrotleiter?
108. Wo wendet man die schiefe Ebene an?
109. Welche Form haben die meisten schneidenden und stechenden Werkzeuge?
110. Wie offenbart sich der mechanische Vor- und Nachtheil bei dem Keile?
111. Beschreibe eine Keilpresse!
112. Wie entsteht eine Schraube?
113. Wozu dienen die Schrauben?
114. Bei welchen Schrauben ist die Spindel beweglich und die Mutter fest?
115. Bei welchen findet das Umgekehrte statt?
116. Wie kann man mittelst einer Schraube schwere Gegenstände heben?
117. Wie heißen die sechs einfachen Maschinen?
118. In welche beide Gruppen zerfallen sie?
119. Welche Mittel dienen zur Fortleitung einer Bewegung?
120. Welcher Unterschied in der Wirkung zeigt sich zwischen der offenen und der gekreuzten Schnur ohne Ende?
121. Wie unterscheiden sich Stirn- und Kronenräder?
122. Wie heißt ein kleines gezahntes Rad, welches ein großes treibt oder von ihm getrieben wird?
123. Wie wird der Läufer in der Mühle in Bewegung gesetzt?

Digitized by Google

124. Warum läuft die Welle eines Getriebes mit sechs Triebstöcken zehnmal so schnell um, als ein Rad von 60 Zähnen, durch welches es in Bewegung gesetzt wird?
125. Wie unterscheidet sich das Wasserrad einer oberschlächtigen Mühle von dem einer unterschlächtigen?
126. Welche gezahnten Räder dienen dazu, eine senkrechte Bewegung in eine wagrechte zu verwandeln und umgekehrt?
127. Wenn ein gezahntes Rad, welches in einer Minute umläuft, ein anderes dergestalt in Bewegung setzen soll, daß es in einer Stunde umläuft, wie kann die Sache eingerichtet werden?
128. Bei welchen Maschinen wird die gezahnte Stange angewendet?
129. Wie wird bei dem Spinnrädchen die Bewegung des Fußtrittes auf das große Rad fortgepflanzt und in eine Kreisbewegung verwandelt?
130. Wo findet die Daumenwelle besonders Anwendung?
131. Wie unterscheidet sich ein Schwanzhammer von einem Aufwerfhammer?
132. Was ist eine excentrische Scheibe und was nützt sie?
133. Welche Mittel dienen zur Regulirung der Bewegung?
134. Was nützen Schwungräder?
135. Beschreibe den Centrifugal-Regulator!
136. Wodurch wird die Wand- oder Thurmuhr in Bewegung gesetzt, und auf welche Weise wird ihre Bewegung regulirt?
137. Wodurch wird die Taschenuhr in Bewegung gesetzt, und wodurch wird ihre Bewegung regulirt?
138. Beschreibe ein Compensationspendel!
139. Was nützt die Schnecke in der Taschenuhr?
140. Wie beschleunigt man den Gang einer Pendeluhr? Wie aber den einer Taschenuhr?

Zweiter Abschnitt.

Vom Gleichgewichte und von der Bewegung tropfbarflüssiger Körper.

§ 48. Die Eigenschaften der tropfbar-flüssigen Körper.

Bereits im Anfange unserer Betrachtungen (§ 2) lernten wir als die Eigenthümlichkeiten tropfbar-flüssiger Körper kennen:

1) daß sie keine bestimmte Gestalt haben, sondern die Form des sie umschließenden Raumes oder Gefäßes annehmen;

Digitized by Google

2) daß der Zusammenhang ihrer Theile so gering ist, daß sie sich sehr leicht trennen und verschieben lassen;

3) daß sie in kleinen Mengen Tropfen bilden.

Vergleichen wir sie nun noch einmal mit den festen oder starren Körpern, von denen wir bis jetzt gesprochen haben, so fallen uns wesentliche Unterschiede zwischen beiden ins Auge.

1) Die festen Körper haben eine bestimmte Gestalt, welche von dem Raume, in welchem sie sich befinden, unabhängig ist.

2) Der Zusammenhang der Theile eines festen Körpers ist so bedeutend, daß stets eine namhafte Kraft erforderlich ist, um sie zu trennen.

3) Tropfenbildung findet bei festen Körpern nicht statt.

Der geringe Zusammenhang der Theile eines flüssigen Körpers ist es eben, welcher die Erscheinung hervorruft, welche wir „fließen“ nennen. Auf schiefen Ebenen, z. B. in den Flußbetten, gleiten die Wassertheilchen* über und neben einander hin, und bewegen sich, indem sie dem Gesetze der Schwere folgen, der Tiefe zu, — während ein fester Körper zwar auch, wenn die Reibung nicht zu bedeutend ist, die schiefe Ebene hinabgleitet oder hinabrollt, aber als ein Ganzes, weil der innigere Zusammenhang seiner Theile ein Auseinandergehen derselben nicht gestattet.

Damit das Regenwasser abfließe, machen wir die Dächer unserer Häuser schräg; gute Straßen werden aus demselben Grunde so angelegt, daß sie in der Mitte höher sind, als an den Rändern; Wasserfurchen, Abzugsgräben, Drainröhren u. dgl. erhalten eine abwärts geneigte Lage. Das Fließen des Wassers benutzen wir als treibende Kraft bei Wassermühlen und allerlei Maschinen.

Wird dem weiteren Auseinanderfließen einer Flüssigkeit durch die Wände eines Gefäßes eine Grenze gesetzt, so füllt sie den

* Die folgenden Betrachtungen gelten zwar für alle tropfbaren Flüssigkeiten; da aber unter denselben das Wasser die im größten Maaßstabe vorhandene und für uns wichtigste ist, so werden wir stets von diesem sprechen.

Digitized by Google

Raum zwischen denselben aus, und nimmt daher die Gestalt des Gefäßes an.

Sobald die Flüssigkeit in einem Gefäße oder einem größeren Behälter, z. B. einem Teiche, in den Zustand der Ruhe gelangt ist, so hat ihre Oberfläche eine wagrechte Lage. Dies kann auch nicht anders sein, denn wäre irgend eine Erhöhung vorhanden, so würde die höher liegende Wassermasse, dem Gesetze der Schwere folgend, abwärts fließen, und die benachbarten Wassertheilchen zur Seite schieben, bis die wagrechte Oberfläche wieder hergestellt wäre.

Genau genommen bildet allerdings die Oberfläche eines umfangreichen Wasserbehälters z. B. des Meeres einen Abschnitt von einer sehr großen Kugel; denn dächten wir uns die ganze Erde mit Wasser bedeckt oder aus Wasser bestehend, so würden wir nicht eine Wasserscheibe, sondern eine Wasserkugel erblicken. Diese Wölbung der Meeresfläche offenbart sich deutlich dadurch, daß man von einem aus großer Ferne herankommenden Schiffe zuerst die oberen Segel, und erst, wenn es näher gekommen ist, den Rumpf erblickt.

§ 49. Die Wellenbewegung des Wassers.

Werfen wir einen Stein in ein ruhig stehendes Wasser, so treibt derselbe eine Menge Wassertheilchen zur Seite; sie steigen rings um die entstandene Vertiefung in die Höhe, und bilden einen erhöheten Kreis, eine kreisförmige Welle. Diese scheint sich fortzubewegen, indem der Kreis immer größer aber zugleich niedriger wird, bis er ans Ufer stößt, oder sich allmählig verliert. Da die in Bewegung gesetzten Wassertheilchen nicht sofort in Ruhe gelangen können, so folgen der ersten Welle noch einige andere, aber schwächere.

Die Fortbewegung der Welle ist nur scheinbar, denn wenn ein Stück Holz auf dem Wasser schwimmt, so würde es, wenn die Wellen wirklich weitergingen, dem Ufer zugetragen werden; dies ist jedoch nicht der Fall, sondern es steigt und sinkt, wenn die Wellen unter ihm fortgehen, und bleibt an seinem Platze. Die Wellenbewegung erfolgt vielmehr dergestalt, daß der zuerst

Digitized by Google

entstandene Wellenberg vermöge seiner Schwere niedersinkt, wodurch rings um ihn eine kreisförmige Vertiefung, das Wellenthal entsteht, auf welche wieder ein Wellenberg folgt. Die Wassertheilchen haben dabei eine auf- und absteigende Bewegung; ein Fortschreiten der Flüssigkeit aber findet, wie gesagt, nicht statt.

Die gewöhnlichste Ursache der Wellen ist der Wind. Die größten Wellen (Wogen) entstehen auf dem Meere. Man redet oft von thurmhohen Wellen, dies ist aber eine Uebertreibung, denn kein Wellenberg erhebt sich mehr als 10 Fuß über den gewöhnlichen Wasserspiegel, und kein Wellenthal sinkt über 10 Fuß unter denselben hinab, so daß die ganze Höhe höchstens 20 Fuß betragt. Nur wenn zwei Wellenberge sich kreuzen, insbesondere bei Brandungen, wo die Wellen an Felsen stoßen, steigen dieselben ungleich höher.

Entstehen gleichzeitig Wellen an zwei verschiedenen Punkten eines Wasserbehälters, so durchkreuzen sie sich, und schreiten dann ungehindert weiter. Treffen bei der Durchkreuzung zwei gleichhohe Wellenberge zusammen, so entsteht ein Berg von doppelter Höhe; treffen zwei gleichtiefe Wellenthäler zusammen, so entsteht ein Wellenthal von doppelter Tiefe; trifft ein Wellenberg mit einem Wellenthale von entsprechender Tiefe zusammen, so gleichen sie einander aus, und die Oberfläche erscheint eben. Ein solches Zusammentreffen eines Wellenberges mit einem Wellenthale, wodurch die Wellenerscheinung aufgehoben wird, heißt die Interferenz der Wellen.

§ 50. Der allseitige Druck des Wassers.

Stellen wir uns ein Gefäß vor, welches senkrechte Wände hat und überall von gleicher Weite ist, z. B. ein Bierglas von dieser Form. Bringen wir in dasselbe einen festen Körper, z. B. ein walzenförmiges Stück Holz, welches den innern Raum vollständig ausfüllt, so wird der Boden des Gefäßes offenbar einen Druck erleiden, welcher dem Gewichte des festen Körpers gleich ist. Wöge dieser z. B. ein Pfund, so drückte dieses Pfund

Digitized by Google

auf den Boden des Gefäßes. Die Seitenwände desselben aber würden von dem Gewichte nichts zu tragen haben. Ebensowenig würde, wenn wir auf einen Punkt der Oberfläche des festen Körpers einen Druck mit dem Finger ausübten, ein Druck nach oben sich offenbaren, da kein Theil des festen Körpers sich nach oben zu bewegen vermöchte, — wir würden vielmehr nur den auf dem Boden des Gefäßes lastenden Druck vergrößern.

Ganz andere Verhältnisse treten ein, wenn wir den innern Raum desselben Gefäßes statt mit einem festen Körper — mit Wasser (oder irgend einer Flüssigkeit) ausfüllten. Allerdings würde auch in diesem Falle der Boden das ganze Gewicht der Flüssigkeit zu tragen haben; allein bei der großen Beweglichkeit der Theile, aus denen die Flüssigkeit besteht, würde sich der gegenseitige Druck derselben auch nach den Seiten hin, also nach den Wänden des Gefäßes, fortpflanzen. Daß ein solcher Seitendruck wirklich stattfinde, können wir sofort wahrnehmen, wenn wir in die Seitenwand des Gefäßes ein Loch bohren; — augenblicklich läuft die Flüssigkeit zu demselben heraus. Bei den (in Schlesien Aeschel genannten) flachen irdenen Schüsseln, in welchen die Hausfrauen die Milch sammeln, hat die Seitenwand bekanntlich eine durch einen hölzernen Zapfen geschlossene Oeffnung. Zieht man den Zapfen, so läuft die Milch aus. Sind die Wände eines mit einer Flüssigkeit gefüllten Gefäßes nicht stark genug, so werden sie durch den Seitendruck derselben zersprengt, wie dies ja nicht selten sogar mit den Mauern eines Wasserbehälters oder mit Dämmen geschieht.

Aber auch nach oben drückt das Wasser. Tauchen wir z. B. die Hand oder irgend einen festen Körper in ein zur Hälfte gefülltes Wasserglas, so drängen wir eine Menge Wassertheile abwärts; sie weichen zur Seite aus, und drücken andere Theile nach oben. Drücken wir einen gewöhnlichen Blumennapf, nachdem wir die in seinem Boden befindliche Oeffnung verstopft haben, in ein großes Wassergefäß, so weicht ein Theil des Wassers aus, und die ganze Wassermasse steigt; öffnen wir nun das Loch im Boden, so dringt das Wasser durch dasselbe empor, indem es

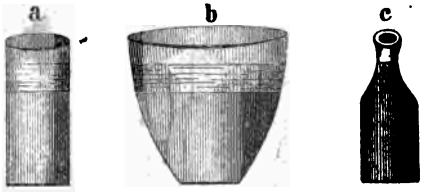
Digitized by Google

nach oben gedrückt wird, bis es in dem Napfe so hoch steht, als in dem Gefäße. — Wenn ein Schiff in seinem Boden ein Loch (Leck) bekommt, so steigt das Wasser durch dasselbe mit einer Gewalt empor, welche gleich ist dem Drucke einer Wassersäule, welche das Loch zur Grundfläche und den Wasserspiegel zur Höhe hat. Daraus folgt:

Eine Flüssigkeit drückt nach allen Seiten hin.

§ 51. Der Druck des Wassers auf den Boden eines Gefäßes.

Betrachten wir die drei durch Figur a. b. c. dargestellten Gefäße! Das erste derselben hat senkrechte Wände, ist also überall von gleicher Weite; das zweite ist nach oben bedeutend erweitert;



das dritte ist eine enghalsige Flasche; — die Bodenfläche ist bei allen gleichgroß. Füllen wir drei solche Gefäße gleichhoch mit Wasser, und stellen eins nach dem andern auf eine Wage, so wird das Gewicht eines jeden gleich sein der Summe der Gewichte des Gefäßes und des in ihm enthaltenen Wassers.

Welchen Druck erleidet aber wohl der Boden eines jeden dieser Gefäße? —

Wer über die Eigenthümlichkeiten des Druckes einer Flüssigkeit noch nicht sorgfältig nachgedacht hat, wird wahrscheinlich bald die Antwort fertig haben: der Boden der Flasche hat den geringsten, der des nach oben erweiterten Gefäßes den größten Druck zu tragen; denn letzteres enthält die größte, erstere die kleinste Wassermenge.

Dies wäre aber ein Fehlschluß. In den gegebenen Fällen ist der Bodendruck in allen drei Gefäßen gleichgroß, denn das Naturgesetz lautet:

Digitized by Google

Der Druck des Wassers auf den Boden eines Gefäßes hängt nicht von der Gestalt des Gefäßes, auch nicht von der in demselben enthaltenen Wassermenge ab, sondern er ist stets gleich dem Gewichte einer senkrechten Wassersäule, welche den Boden zur Grundfläche und die Höhe des Wasserspiegels zur Höhe hat.

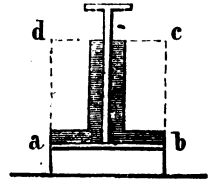
Die Wahrheit dieses auffallenden Gesetzes wird durch die mittelst besonderer Vorrichtungen (der Pascal'schen Vasen) angestellten sorgfältigsten Versuche bestätiget. In Ermangelung der erforderlichen Apparate müssen wir uns damit begnügen, einige Gründe für die in Rede stehende Thatsache uns vorzuführen.

Daß in dem Fig. a. dargestellten Gefäße mit senkrechten Wänden die ganze Wassermenge auf den Boden drücken muß, ist an und für sich klar.

Denken wir uns in das nach oben erweiterte Gefäß Fig. b. einen hohlen Cylinder ohne Boden gestellt, welcher genau auf den Boden des größeren Gefäßes paßt, so sind die zwischen den Wänden beider Gefäße befindlichen Wassertheile für den Boden so gut wie nicht vorhanden, denn dieser erleidet nur den Druck des von dem Einsatzgefäße umschlossenen Wassers. In diesem Verhältnisse wird offenbar nichts geändert, wenn wir auch das Einsatzgefäß entfernen.

Bei dem dritten Gefäße Fig. c. ist zu erwägen, daß der Druck, welchen die in dem weiteren Theile des Gefäßes enthaltene Wassermenge von dem in dem engen Halse befindlichen Wasser erleidet, vermöge der allseitigen Verbreitung des Druckes (§ 50) sich auch über die ganze Bodenfläche verbreiten muß.

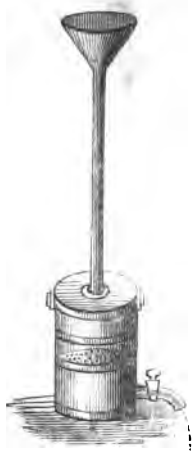
Demzufolge erleidet der Kolben a b in nachstehender Figur einen Druck, als laste die ganze Wassermenge a b c d auf ihm, und man kann also mit einer kleinen Wassermenge einen sehr großen Druck ausüben. Es könnte sonach den Anschein haben, als vermöchte eine kleine Wassermasse dieselbe Arbeit zu verrichten, wie eine große. Dies ist aber doch nicht der



Digitized by Google

Fall; denn wenn das Wasser in der engen Röhre den Kolben niederdrückt, so wird es bald in das weite Gefäß hinabgesunken sein, den Kolben also nur ein kleines Stück abwärts bewegt haben, während es selbst einen ungleich größeren Weg zurückgelegt hätte. Wir erfahren daher dasselbe, was wir bei den Leistungen des Hebels erkannten: Was an Kraft gewonnen wird, geht am Wege (an Zeit) verloren.

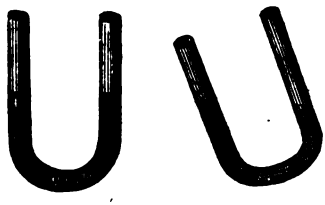
Auf die so eben besprochene Erscheinung gründet sich die Real'sche Extractpresse, mittelst deren man Auszüge (Extracte) aus pulverisirten Pflanzentheilen, z. B. aus gemahlenem Kaffee, aus Malz, Hopfen, Farbestoffen u. s. w. macht. Ein cylinderförmiges Gefäß hat über seinem Boden zwei siebartig durchlöcherte Metallplatten, zwischen welche das Pulver kommt. Die untere Siebplatte wird mit einem Seihetuche bedeckt, damit das Pulver nicht zugleich mit der Flüssigkeit in den unteren Raum gelangen kann. Aus der Mitte des festzuschraubenden Deckels erhebt sich eine enge, hohe Röhre, in welche Wasser oder Weingeist gegossen wird. Das Pulver erleidet nunmehr einen Druck, als laste eine Flüssigkeitssäule von dem Umfange der Siebböden und der Höhe der Röhre auf ihm, und man gewinnt einen kräftigen Extract, der aus dem Raume zwischen der untersten Siebplatte und dem Boden des Gefäßes mittelst eines Hahnes abgelassen wird. Erhält man aber die enge Röhre nicht durch Nachgießen voll, so senkt sich natürlich die Flüssigkeit bald herab, und der Druck wird immer geringer, der Extract also auch immer schwächer. — Ein Hauptvorzug der Real'schen Presse besteht darin, daß die Flüssigkeit kalt angewendet werden kann, da viele Stoffe durch die Hitze (z. B. beim Auskochen) nachtheilige Veränderungen erleiden.

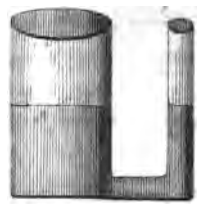


Digitized by Google

§ 52. Communicirende Röhren.

Füllen wir eine stehende Theekanne oder eine Gießkanne allmählig mit Wasser, so bemerken wir, daß dieses in der Ausgußröhre immer eben so hoch steht, als in der Kanne selbst, so daß die Oberflächen des in den beiden verbundenen Räumen enthaltenen Wassers stets in einer wagrechten Ebene liegen. Auch wenn wir die Kanne neigen ist dies noch immer der Fall. Hätte sie mehr als eine Ausgußröhre, so würde in allen zugleich dasselbe stattfinden. Die verschiedene Weite der mit einander verbundenen (communicirenden) Röhren und Gefäße ändert darin nichts. Die verbundenen Röhren bilden gewissermaßen nur ein einziges Gefäß, und wie in diesem der Wasserspiegel stets horizontal ist, so ist es auch bei jenen der





Fall. Wir prägen uns demnach das Gesetz ein:

In allen mit einander in Verbindung stehenden Röhren oder Gefäßen (kürzer: in communicirenden Röhren) liegen die Oberflächen des Wassers immer in einer wagrechten Ebene.

Digitized by Google

§ 53. Erscheinungen und Vorrichtungen, welche auf dem Gesetze über communicirende Röhren beruhen.

1. Das Steigen und Fallen des Wassers in Brunnen und Kellern.

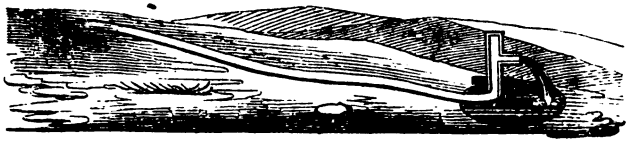
Bei vielen in der Nähe eines Flusses befindlichen **Brunnen** steigt und fällt die Wasserhöhe zugleich mit dem Wasser des Flusses, so daß, wenn dieser einen hohen Wasserstand hat, das Wasser auch in den Brunnen hoch steht, und wenn z. B. bei großer Sommerhitze der Fluß wenig Wasser führt, auch der Wasserspiegel des Brunnens sinkt.

Ebenso füllen sich manche **Keller** in Gebäuden mehr oder weniger mit Wasser, wenn der benachbarte Fluß anschwillt; tritt derselbe wieder in seinen gewöhnlichen Stand zurück, so werden die Keller wieder wasserfrei.

Beide Erscheinungen beruhen auf dem Gesetze über communicirende Röhren. In dem lockeren Erdboden kann sich das Wasser nach allen Richtungen hin verbreiten, daher stehen auch Brunnen und Keller mit einem nahen Flusse in Verbindung, und so hoch der Wasserspiegel in diesem steht, erhebt er sich auch in den genannten Räumen. Daraus folgt, daß man bei dem Grundgraben zu einem Gebäude, falls dieses trocken werden soll, nicht tiefer gehen darf, als bis zum höchsten Wasserstande eines benachbarten Flusses.

2. Wasserleitungen.

Vielen Städten wird trinkbares Quellwasser von nahen Hügeln



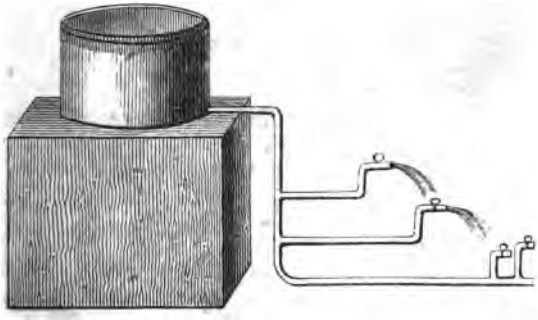
durch Röhren zugeführt. An geeigneten Plätzen erhebt sich innerhalb der Stadt ein senkrechtes Rohr mit einer wagrechten Ausgußröhre, aus welcher das Wasser ununterbrochen ausfließt.

Digitized by Google

Die Zuleitungsröhren können über Anhöhen hinweg geführt werden, wenn diese nur niedriger sind, als der Anfangspunkt der Wasserleitung.

In großen Städten treibt man das Wasser durch Pumpenwerke auf einen Thurm, und leitet in diesem ein Hauptrohr abwärts. Von letzterem können nun Zweigröhren durch die ganze Stadt gelegt werden, die sich innerhalb der Häuser bis in die höchsten Stockwerke erheben, wo man dann durch Hähne nach Belieben und Bedürfniß Wasser in Gefäße strömen lassen kann.

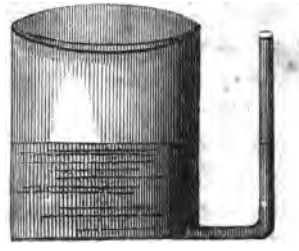
Selbst für einzelne Häuser legt man hie und da solche Wasserleitungen im Kleinen an. Man pumpt nämlich das Wasser



aus einem Brunnen in ein großes Gefäß, welches sich unter dem Dache befindet, und aus welchem (meist innerhalb der Wände) Röhren mit Hähnen in alle Zimmer, in Küchen-, Wasch- und Kellerräume geführt werden, so daß das lästige Herbeitragen des Wassers ganz erspart wird.

3. Standmesser.

In manchen Fabriken ist es von Wichtigkeit, zu wissen, wie hoch die in einem verschlossenen Gefäße befindliche Flüssigkeit stehe. Zu diesem Behufe bringt man am Boden ein kurzes wagrechtes Rohr an, aus

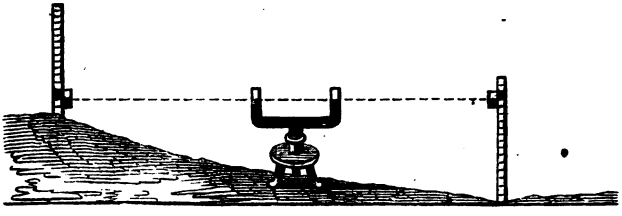


Digitized by Google

welchem eine lange gläserne Röhre sich erhebt. So hoch das Wasser in dieser steht, so hoch steht es auch in dem Gefäße.

4. Wasserwagen.

Da die Oberflächen des Wassers in verbundenen Röhren stets in einer wagrechten Ebene liegen, so kann man dieselben auch statt der Setzwage zur Bestimmung der wagrechten Richtung benutzen.



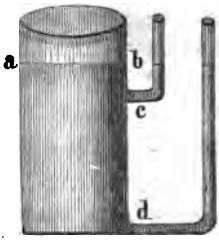
Die Nivellirwage besteht aus einer beweglich auf einem Gestell ruhenden längeren Metallröhre, deren beide Enden senkrecht aufwärts gebogen sind. In diese Enden kittet man Glasröhren, und füllt nun das Instrument mit einer gefärbten Flüssigkeit. Bei jeder Lage des Werkzeuges liegen die Oberflächen der Flüssigkeit in beiden Glasröhren in einer horizontalen Ebene, so daß eine gerade Linie von einem Wasserspiegel zum anderen stets wagrecht ist. — Mittelst dieser Nivellirwage untersucht man, um wie viel ein Punkt einer Bodenfläche höher liege als der andere. Man bringt das Instrument zwischen die beiden betreffenden Punkte, an deren jedem ein Gehülfe mit einer Nivellirlatte, d. h. einem in Fuße getheilten Stabe steht, der senkrecht in den Boden gesteckt wird, und an dem sich ein weiß und schwarz angestrichenes Brettchen auf und ab schieben läßt. Blickt nun der Feldmesser über die beiden Wasserspiegel der Nivellirwage nach dem einen Punkte hin, so muß der dort stehende Gehülfe das Brettchen so lange auf und ab schieben, bis seine Mittellinie mit den Wasserspiegeln gleich hoch steht. Hierauf geschieht dasselbe mit der zweiten Meßplatte. Ergäbe sich nun z. B., daß das

Digitized by Google

Brettchen der ersten Latte 6, das der zweiten nur 2 Fuß hoch zu stehen käme, so läge der letztere Punkt 4 Fuß höher als der erstere.

Eine andere Art von Wasserwage zur Bestimmung der wagrechten Richtung ist die sogenannte Libelle. Dies ist eine Glasröhre, deren innere obere Seite ein Wenig gewölbt ist. Diese Röhre wird mit Weingeist (Alkohol) so gefüllt, daß noch eine kleine Luftblase darin bleibt, und dann an beiden Enden fest geschlossen. In der Mitte ihrer oberen Seite ist der höchste Punkt durch ein Merkzeichen angegeben. Wird nun das Instrument auf ein Stativ (Gestell) beweglich befestiget, so befindet es sich dann in wagrechter Richtung, wenn die Luftblase, die sich stets an den höchsten Punkt begiebt, genau unter dem Merkzeichen steht. — Außer den so eben beschriebenen Cylinderlibellen hat man auch Dosenlibellen, die, wie ihr Name besagt, aus einem dosenförmigen Gefäße bestehen. Dieses hat einen flach gekrümmten Deckel, an dessen höchstem Punkte sich die Luftblase befindet, wenn das Instrument wagrecht steht. Solche Dosenlibellen sind jedoch weniger genau, als die cylinderförmigen.

§ 54. Der Seitendruck des Wassers.



Denken wir uns das cylinderförmige Gefäß, welches nebenstehende Figur darstellt, bis zu der Linie a b mit Wasser gefüllt. Bohren wir nun bei c ein Loch in die Seitenwand, und kitten dort eine Röhre von der Weite der Oeffnung ein, wie sie die Figur zeigt, so wird — wie wir aus dem Vorigen wissen — das Wasser in derselben steigen, bis es mit dem Wasser im Gefäße gleichhoch steht. Schließen wir die Oeffnung wieder, so wird doch die Fläche derselben einen Druck erleiden, welcher dem Drucke der in der Röhre enthalten gewesenen Wassersäule gleichkommt.

Machen wir eine Seitenöffnung nahe am Grunde des Gefäßes, z. B. bei d, und setzen dort eine Röhre ein, so wird sich

Digitized by Google

wiederum in derselben eine Wassersäule erheben, welche dieselbe Höhe erreicht, die das Wasser in dem Gefäße hat. Folglich erleidet die Stelle der Seitenwand des Gefäßes, wo die Oeffnung d angebracht worden ist, einen Druck, welcher gleich ist dem Gewichte einer senkrechten Wassersäule, deren Grundfläche die betrachtete Stelle der Seitenwand, und deren Höhe die Entfernung des Mittelpunktes dieser Stelle von dem Wasserspiegel ist.

Daraus folgt:

1) Der Seitendruck ist unabhängig von der Weite des Gefäßes, folglich auch von der in demselben enthaltenen Wassermenge; ein weites Gefäß braucht demnach keine stärkeren Wände zu haben, als ein enges von derselben Höhe, obschon in ersterem weit mehr Wasser enthalten ist.

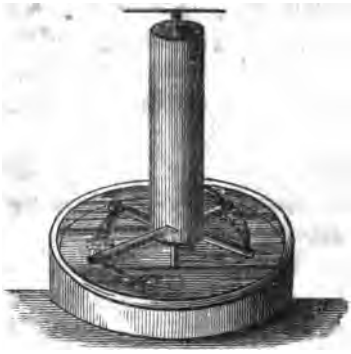
2) Der Seitendruck nimmt mit der Tiefe unter dem Wasserspiegel zu, so daß die tieferen Stellen der Seitenwände weit mehr auszuhalten haben, als die höher gelegenen. Aus diesem Grunde macht man die Basis der Dämme weit breiter, als ihre Krone. Der Druck, welchen Dämme, Wehre, Schleusen u. s. w. erleiden, wird noch bedeutend größer, wenn das Wasser nicht still steht, sondern sich gegen sie bewegt, und zwar um so mehr, je größer die Geschwindigkeit dieser Bewegung ist.

Man hat versucht, den Seitendruck des Wassers als bewegende Kraft zu benutzen. Denkt man sich z. B. ein Trinkglas voll Wasser auf einer Spitze balancirt, so erleiden alle Seitenwände einen gleichen Druck. Entstände nun plötzlich ein Loch an einer Stelle der Seitenwand, aus welcher das Wasser ausliefe, so würde das Glas nach der dem Loche gegenüberliegenden Seite umfallen, weil an der Stelle, wo die Oeffnung ist, der Seitendruck plötzlich aufhörte, folglich an der entgegengesetzten Seite ein Uebergewicht einträte. Man nennt diesen Vorgang: Rückwirkung (Reaction).

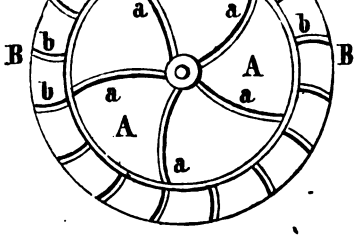
Giebt man nun einem hohlen Cylinder, welcher sich in zwei Zapfen senkrecht bewegen kann, unten vier kleine Seitenröhrchen,

Digitized by Google

die an ihrem äußeren Ende verschlossen sind, deren jede aber in der Nähe des verschlossenen Endes eine kleine Seitenöffnung hat, die bei allen Röhrchen nach derselben Seite zu angebracht ist, so wird, wenn der Cylinder mit Wasser gefüllt wird, eine Bewegung desselben um seine Axe eintreten. Dasselbe findet statt, wenn die Seitenröhrchen an der Spitze offen, aber alle nach einerlei Richtung hin gekrümmt sind. Trägt der oberste Zapfen ein Rad, eine Scheibe oder einen Mühlstein, so müssen diese mit umlaufen. Diese Vorrichtung heißt, nach ihrem Erfinder Segner, das Segner'sche Wasserrad oder die Segner'sche Rückwirkungs- (Reactions-) Maschine. — Man findet dergleichen umlaufende (rotirende) Cylinder häufig als interessante Spielerei bei Springbrunnen angebracht. —



Merkwürdig sind die hie und da bei Fabriken angewendeten Turbinen. Ein unbewegliches Rad A A besitzt eine Anzahl gekrümmter Scheidewände a a a. Um dasselbe ist ein äußeres Rad B B beweglich, ohne an das innere anzustreifen. Auch dieses äußere Rad hat krumme Scheidewände b b b aber in entgegengesetzter Richtung. Beide Räder sind in ein walzenförmiges Gehäuse eingeschlossen. Durch eine senkrechte Fallröhre stürzt das Wasser aus sehr bedeutender Höhe (2—300′) auf den Mittelpunkt des inneren Rades herab, vertheilt sich nach allen



Digitized by Google

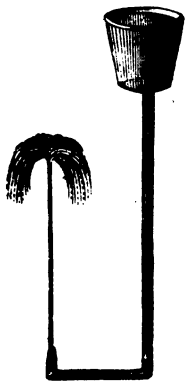
Richtungen, und wird von den festen Scheidewänden aaa gleichzeitig gegen die des äußeren Rades geleitet, welches zwar nur einen Fuß im Durchmesser hat, aber in einer Minute über 2000 Umschwünge macht.

§ 55. Der Druck des Wassers nach oben.

Daß das Wasser in einem Gefäße nicht allein einen Druck von oben nach unten ausübt, sondern daß es eben so stark von unten nach oben drückt, haben wir schon § 50. besprochen. Bei allen verbundenen Röhren (§ 52. 53) findet ebenfalls dieser Druck nach oben statt. Wir führen nun noch einige Vorrichtungen an, in denen er seine Thätigkeit offenbart.

1. Der (hydrostatische) Springbrunnen.

Ein solcher wird häufig in den sogenannten Krippeln zur Ergötzung der Kinder angebracht. Man hängt einen Topf, der in seinem Boden ein Loch hat, z. B. einen Blumennapf, senkrecht



auf, und leitet von der Bodenöffnung eine möglichst lange Röhre, z. B. ein Blaserohr herab, indem man die Verbindungsstelle mit Thon verklebt. Mit dem unteren Ende der Röhre verbindet man wasserdicht einen Schenkel einer zweimal rechtwinkelig gebogenen Glasröhre; der freie Schenkel dieser Glasröhre aber endet in eine Spitze mit einer feinen Oeffnung. (Man kann auch die ganze Vorrichtung von Blech anfertigen lassen, oder sie aus Glasröhren zusammensetzen.) Gießt man nun den Topf voll Wasser, so springt es aus der kurzen Röhre in einem senkrechten Strahle empor, doch nicht bis zur Höhe des Gefäßes.

Die in dem Gefäße und der längeren Röhre enthaltene Wassersäule drückt von unten auf das Wasser in der kurzen Röhre, und würde es bis zu ihrer eigenen Höhe emportreiben, wenn nicht der Widerstand der Luft, die starke Reibung an der Spritz-

Digitized by Google

röhre und der Gegendruck des herabfallenden Wassers als Hindernisse entgegenträten. Der Wasserstrahl erreicht daher höchstens $^9/_{10}$ der Höhe der längeren Röhre.

Im Großen lassen sich solche Springbrunnen (Fontainen, spr. Fongthänen) am leichtesten und wohlfeilsten anlegen, wenn eine Anhöhe mit einer Quelle oder einem Wasserbehälter (See, Teich, Bassin) in der Nähe ist. Von dieser leitet man das Wasser in Röhren in die Tiefe; je bedeutender sein Fall ist, desto höher springt es. Auf der Wilhelmshöhe bei Kassel springt das Wasser, welches in einer geneigten Ebene 250 Fuß herabfällt, 140 Fuß hoch. Die Hauptfontaine in Sanssouci bei Potsdam treibt ihren Strahl 114 Fuß empor. Dort muß es aber erst aus der Havel mittelst einer Dampfmaschine in ein hochgelegenes Bassin gehoben werden.

2. Die artesischen Brunnen.

Eine dicke Thonschicht läßt kein Wasser durch. Wenn sich nun im Innern der Erde mehrere mit Kies- oder Sandschichten abwechselnde Thonlager bis zu Anhöhen hinaufziehen, so sammelt sich das Wasser zwischen denselben, wird wie in einem Gefäße zurückgehalten, und muß wie in einer Röhre steigen. Durchbohrt man nun an einer tief gelegenen Stelle das obere, die Decke des Wasserbehälters bildende Thonlager, so springt das Wasser mehr oder minder hoch empor. Solche natürliche Springbrunnen heißen artesische Brunnen nach der Grafschaft Artois in Frankreich, wo die Bodenverhältnisse für sie besonders günstig sind, und wo man sie zuerst gebohrt hat. Es giebt solche Brunnen, deren Wasserstrahl 60—80 Fuß emporsteigt.

3. Wolf's anatomischer Heber.

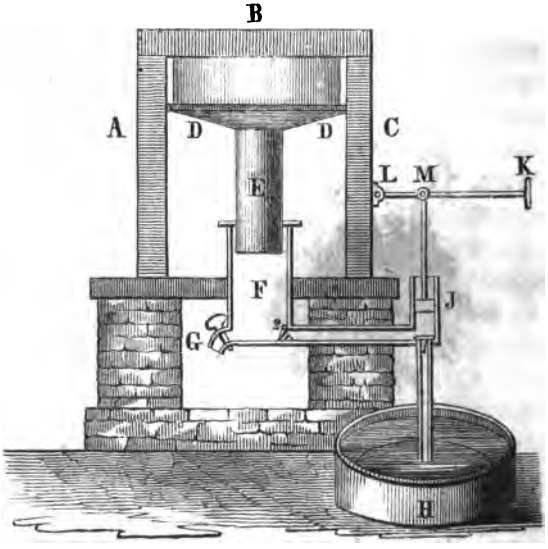
Mag auch dieses Instrument, welches nächste Figur darstellt, und zur gleichmäßigen Ausspannung thierischer Häute behufs der genauen Beobachtung ihrer Beschaffenheit dient, nur selten zu diesem Zwecke angewendet werden, so zeigt es uns doch in interessanter Weise den Druck des Wassers nach oben. Die zu

Digitized by Google

unterſuchende Haut wird über ein weites und niedriges, oben offenes Gefäß feſtgebunden. Indem man in eine lange, enge, mit dieſem Gefäße verbundene Röhre Waſſer gießt, bis das Gefäß und die Röhre voll ſind, wird durch den bedeutenden Druck der hohen Waſſerſäule die Haut ſehr ſtark geſpannt und ausgedehnt. Sticht man ein feines Loch in dieſelbe, ſo ſpringt ein hoher Waſſerſtrahl empor.

4. Bramah's hydrauliſche Preſſe (Waſſerpreſſe).

Sie beruht auf der bereits beſprochenen Erſcheinung, daß der Druck einer engen Waſſerſäule dem einer beliebig weiten das Gleichgewicht hält (§ 52). Drückt alſo eine Waſſerſäule von einem Quadratzoll Grundfläche auf eine andere, deren Grundfläche 200 Quadratzoll beträgt, ſo hält ſie ihr das Gleichgewicht; wird aber auf jene mittelſt eines



Digitized by Google

Kolbens ein Druck von 10 Pfund ausgeübt, so wird sich die größere Wassersäule mit einer Kraft von $200 \times 10 = 2000$ Pfund erheben — allerdings nur den zweihundertsten Theil so hoch, als die kleinere Wassersäule abwärts getrieben wurde.

ABC ist ein starkes Gerüst, gegen dessen obere Schwelle B die Preßplatte D, welche auf dem Kolben E befestigt ist und die zu pressenden Gegenstände enthält, mit großer Kraft empor bewegt werden soll.

Mittelst des einarmigen Hebels **LMK**, der in L seinen Unterstützungspunkt hat, pumpt* ein an K anfassender Arbeiter oder eine Dampfmaschine das Wasser aus dem Behälter H in die engere Röhre, in welcher sich der Kloben J auf und ab bewegt.

Indem sich Kolben J aufwärts bewegt, tritt Wasser über die Klappe (das Ventil) 1, drückt diese zu, und wird bei dem Niedergange des Kolbens in die weite Röhre F getrieben, die sich allmählig füllt, so daß der Kolben E sammt der Preßplatte in die Höhe getrieben wird. Das Zurückfließen des Wassers wird durch die Klappe 2 verhindert. Ist die Pressung geschehen, so wird die Röhre F mittelst des Hahnes G entleert.

Nehmen wir nun an, der Arbeiter oder die Dampfmaschine drücke den Hebel bei K mit einer Kraft von 25 Pfund nieder, und LK sei zehnmal so lang, als LM, so geht nach dem bekannten Hebelgesetze der Kolben J mit einer Kraft von $10 . 25 = 250$ Pfund abwärts. Diesen Druck erleidet die Wassersäule in der Röhre F. Ist aber ihre Grundfläche 200 mal so groß, als die der Zuleitungsröhre, so muß Kolben E mit einer Kraft von $200 \times 250 = 50{,}000$ Pfund gehoben werden.

Dabei ist allerdings ein höchst bedeutender Kraftgewinn erzielt, aber was an Kraft gewonnen wird, geht, wie immer, so auch hier, an Zeit verloren. Denn ist, wie wir angenommen haben, die Röhre F 200 mal so weit, als die Röhre J, so hebt sich der Kolben E auch nur um den 200sten Theil des Weges, den Kolben J bei einem Niedergange zurücklegt. Ginge also J jedesmal 4 Zoll nieder, so stiege E nur $^4/_{200} = {}^1/_{50}$ Zoll, und

* Das Gesetz, worauf eine solche Pumpe beruht, kan erst später (§ 68) klar gemacht werden.

Digitized by Google

wenn E einen Fuß emporbewegt werden sollte, so müßte der Kolben J $12 \times 50 = 600$ mal niedergedrückt werden, ehe die einmalige Pressung erfolgte.

§ 56. Das Schwimmen.

Wer ein Freund der Flußbäder ist, hat gewiß schon manchmal den Versuch gemacht, einen großen Stein vom Grunde des Wassers emporzuheben, und dabei wahrgenommen, daß derselbe weit leichter war, so lange er sich noch unter der Oberfläche des Wassers befand, als da er über dieselbe gelangte.

Ebenso ist ein gefüllter Eimer sehr leicht zu heben, so lange er unter Wasser ist; so wie er aus dem Wasser kommt, ist er bedeutend schwerer, und kann nur mit einem ziemlich großen Aufwande von Kraft gehoben werden.

Fischer ziehen ein volles Netz mit Leichtigkeit im Wasser dahin; wollen sie es sodann an das Ufer herauf ziehen, so bedürfen sie dazu weit mehr Kraft.

Aus diesen Erscheinungen ergiebt sich, daß jeder feste Körper im Wasser leichter ist, als außerhalb desselben, daß also ein Theil seines Gewichts oder nach Umständen sein ganzes Gewicht vom Wasser getragen wird.

Denken wir uns einmal einen Würfel von Wasser, der einen Fuß lang, einen Fuß breit und einen Fuß hoch ist, also einen Kubikfuß Wasser. Dieser Wasserwürfel wird von dem übrigen Wasser getragen werden, und weder steigen noch sinken, wohin wir ihn auch im Wasser bringen mögen. Ganz dasselbe müßte offenbar stattfinden, wenn wir einen Würfel aus einem anderen Stoffe herstellen könnten, der genau so schwer wäre, als der Wasserwürfel. Er würde, auf das Wasser gelegt, einsinken, bis seine Oberfläche genau in den Wasserspiegel fiele. Die Wassersäule, auf welche er ruhete, trüge sein ganzes Gewicht, wie sie zuvor den eben so großen und eben so schweren Wasserwürfel trug, an dessen Stelle er getreten ist. Hinge er an einem Ende einer über dem Wasser aufgestellten Wage, so würde er nicht den geringsten Einfluß auf den Wagebalken ausüben.

Digitized by Google

Ist dagegen der ins Wasser gebrachte Würfel schwerer, als ein Wasserwürfel von gleicher Größe, so wird durch den Druck des Wassers nur so viel von seinem Gewichte getragen werden, als der gleichgroße Wasserwürfel wiegt, und um so viel wird er leichter erscheinen, wenn man ihn an eine Wage hängt. Wiegt er z. B. außerhalb des Wassers 100 Pfund, so wird er, wenn ein Kubikfuß Wasser $61^{7}/_{10}$ Pfund schwer ist, unter Wasser nur 100 weniger $61^{7}/_{10}$ d. i. $38^{3}/_{10}$ Pfund wiegen.

Daraus ergiebt sich das nach seinem Entdecker Archimedes benannte Gesetz:

Von dem Gewichte eines in eine Flüssigkeit getauchten Körpers trägt diese so viel, als die von ihm verdrängte Menge derselben wiegt.

Oder mit anderen Worten:

Jeder feste Körper verliert in einer Flüssigkeit so viel von seinem Gewichte, als die durch ihn verdrängte Menge derselben wiegt.

Wenn nun der ins Wasser gebrachte Würfel leichter ist, als der gleich große Wasserwürfel, so wird der Druck des Wassers nach oben kräftiger sein, als der Druck des Körpers nach unten; er wird so weit emporgehoben werden, bis er nur so viel Wasser dem Gewichte nach verdrängt, als er selber wiegt, und er wird daher schwimmen.

Wiegt z. B. der in das Wasser gebrachte Körper, der einen Kubikfuß Raum einnimmt, nur $30^{17}/_{20}$ Pfund, während der Kubikfuß Wasser $61^{7}/_{10}$ Pfund wiegt, so genügt schon ein halber Kubikfuß Wasser, seinem Drucke das Gleichgewicht zu halten; er wird daher zur Hälfte über die Oberfläche des Wassers emporsteigen, und wird in dieser Weise schwimmen.

Jeder schwimmende Körper sinkt demnach nur so tief ein, bis die von dem eingetauchten Theile verdrängte Wassermasse dem Gewichte des ganzen Körpers gleich ist.

Ob ein Körper im Wasser schwimmt oder untersinkt, dies hängt nicht von dem Stoffe ab, aus welchem er besteht, auch nicht von seinem Gewichte an und für sich, sondern es kommt,

Digitized by Google

wie wir aus dem Vorstehenden erkannt haben, darauf an, ob die von ihm verdrängte Wassermasse mehr oder weniger wiegt, als er. Ein kleiner eiserner Nagel sinkt unter, weil er weit mehr wiegt, als die von ihm verdrängte Wassermenge; dagegen baut man manche Schiffe ganz aus Eisen, und sie schwimmen vortrefflich, weil ihr Gesammtgewicht geringer ist, als das Gewicht der durch sie verdrängten Wassermenge.

Fische befinden sich mit dem Wasser im Gleichgewichte; wollen sie sich niedersenken, so verringern sie ihren Umfang, indem sie mittelst der Muskeln die Schwimmblase stärker zusammenpressen.

Der menschliche Körper ist fast eben so schwer, als die durch ihn verdrängte Wassermenge, eher ein Wenig leichter, daher würde ein ins Wasser gefallener Mensch nicht untersinken, wenn nicht durch Mund und Nase Wasser eindränge, durch welches sein Gewicht vergrößert wird, und welches zugleich ihn erstickt. Legt man sich im Wasser auf den Rücken, und biegt den Kopf nach hinten abwärts, so daß Mund und Nase die am höchsten liegenden Theile sind, so wird man vom Wasser getragen. Bei dem gewöhnlichen Schwimmen erhält man den Kopf durch die Bewegungen der Hände und Füße über Wasser. Wenn Jemand, der nicht schwimmen gelernt hat, ins Wasser fällt, so würde er seinen Kopf vor dem Untersinken, sich also vor dem Ertrinken bewahren, wenn er die Arme unter Wasser behielte, und den Brustkasten durch Anhalten des Athems möglichst erweiterte. Schreit er aber um Hülfe, so athmet er stark aus, und vermindert dadurch den Umfang seines Körpers; hebt er zugleich die Arme empor, so verdrängt er immer weniger Wasser, sein Kopf kommt unter den Wasserspiegel, und er erstickt an dem eingeschluckten Wasser, welches zugleich sein Gewicht dergestalt vermehrt, daß er zu Boden sinkt. Liegt der Leichnam einige Zeit auf dem Grunde, so beginnt die Fäulniß, wobei sich verschiedene Luftarten entwickeln, welche den Körper auftreiben, seinen Umfang also vergrößern, und verursachen, daß er zur Oberfläche emporsteigt, falls er nicht durch Wasserpflanzen oder Wurzeln

Digitized by Google

zurückgehalten wird. Zuletzt platzt die Haut, es dringt Wasser in die Höhlungen, und er sinkt abermals auf den Grund nieder, wo die völlige Zersetzung vorgeht.

Manche Menschen suchen sich das Schwimmenlernen dadurch zu erleichtern, daß sie ein Paar mit Luft gefüllte Thierblasen durch ein Band verbinden, und sich auf dieses mit der Brust legen. Die großen Blasen, welche weit leichter sind, als eine Wassermenge von gleichem Volumen, machen dann gleichsam mit dem Körper ein Ganzes aus, und vergrößern seinen Umfang bedeutend, ohne sein Gewicht merklich zu erhöhen, sie erhalten daher auch den Nichtschwimmer oberhalb des Wassers.

In ähnlicher Weise hat man schon öfters versunkene Schiffe dadurch wieder in die Höhe gebracht, daß man durch Taucher leere Tonnen an dieselben befestigen ließ.

Kleidungsstücke oder Gürtel von Kork bewahren den Menschen vor dem Ertrinken, da der Kork nur $^1/_4$ mal so schwer ist als Wasser. Salzwasser ist schwerer, als süßes Wasser, besitzt daher eine größere Tragkraft. Ein Ei, welches in gewöhnlichem Flußwasser untersinkt, steigt empor, wenn man Salz in dem Wasser auflöset. In schwachem Salzwasser schwebt es, ohne bis an die Oberfläche zu kommen, weil sein Gewicht dem des verdrängten Wassers gleich ist. In dem salzhaltigen Meerwasser kann man leichter schwimmen, als im süßen Wasser, und Seeschiffe müssen erleichtert werden, wenn sie in Flußmündungen aufwärts fahren sollen.

Die Tragkraft der Schiffe wird berechnet, indem man den kubischen Inhalt des Raumes bestimmt, der zwischen zwei Linien liegt, von denen die untere anzeigt, wie tief das leere Schiff sinkt, die obere, wie weit das belastete Fahrzeug sinken darf. Soviel Kubikfuß dieser Raum enthält, so viel mal $61^7/_{10}$ Pfund kann die Belastung betragen.

In Spielwaaren-Handlungen verkauft man die cartesianischen Taucher, kleine, hohle, gläserne Figuren mit einer kleinen Oeffnung. Bringt man diese in ein mit Wasser gefülltes, enges, hohles Glas, über welches ein Stück Thierblase

Digitized by Google

gebunden wird, so kann man den kleinen Taucher bald zu Boden sinken, bald mitten im Wasser schweben, bald an die Oberfläche herauf kommen lassen. In der Höhlung der Figur ist nämlich Luft enthalten, welche das Eindringen des Wassers verhindert. In diesem Zustande ist der Taucher leichter als das Wasser, und schwimmt an der Oberfläche desselben. Drückt man mit dem Finger stark auf die Blase, so füllt sich die hohle Figur fast ganz mit Wasser, wird schwerer und sinkt zu Boden. Bei leisem Drucke wird die Höhlung nur theilweis voll Wasser, und der Taucher schwebt.

§ 57. Das specifische Gewicht.

Legen wir einen Körper auf eine Wage, so finden wir, wie schwer er an und für sich ist, d. h. wie viele Centner, Pfund, Loth u. s. w. er wiegt. Dies nennt man sein absolutes Gewicht.

Vergleichen wir aber das Gewicht zweier Körper mit Berücksichtigung des Raumes, den sie einnehmen, untersuchen wir also z. B. wie sich das Gewicht eines Kubikzolles des einen zu dem Gewichte eines Kubikzolles des andern verhält, so bestimmen wir das specifische Gewicht.

Wir finden bei solchen Untersuchungen, daß ein Kubikzoll Eisen weit mehr wiegt, als ein Kubikzoll Fichtenholz, und sagen: Eisen ist (specifisch) schwerer als Fichtenholz.

In der Regel vergleicht man die Körper mit destillirtem Wasser von 15 Grad Wärme, von dem ein Kubikfuß nach dem früheren preußischen Gewichte 66 Pfund, nach dem neuen Landesgewichte etwas über $61^{7}/_{10}$ Pfund wiegt.

Das specifische Gewicht ist demnach die Zahl, welche angiebt, wie viel Mal so schwer ein Körper ist, als eine gleich große Wassermasse. Es wird nicht nach Centnern oder andern

Digitized by Google

Gewichten bestimmt, sondern durch eine unbenannte Zahl ausgedrückt. Das specifische Gewicht des Goldes ist 19, d. h. ein Kubikzoll Gold wiegt 19 mal so viel, als ein Kubikzoll Wasser.

Nachstehende Tabelle giebt das ungefähre specifische Gewicht einiger Körper an.

Platina 21.	Marmor $2^{4}/_{5}$.
Gold 19.	Elfenbein $1^{9}/_{10}$.
Queckfilber $13^{1}/_{2}$.	Phosphor $1^{7}/_{10}$.
Blei $11^{1}/_{2}$.	Meerwaffer $1^{1}/_{6}$.
Silber $10^{1}/_{2}$.	Eis $^{9}/_{10}$.
Kupfer 9.	Buchenholz $^{9}/_{10}$.
Arsenik 8.	reiner Weingeist $^{4}/_{5}$.
Eisen 7.	Tannenholz $^{1}/_{2}$.
Zinn 7.	Pappelholz $^{2}/_{5}$.
Zink 7.	Kork $^{1}/_{4}$.
Diamant $3^{1}/_{2}$.	

Die Bestimmung des specifischen Gewichtes ist nicht immer ohne Schwierigkeit. Feste Körper, welche im Wasser unlöslich sind und kein Wasser einsaugen, aber im Wasser unterfinken, z. B. Gold, Silber, Eisen, überhaupt die sogenannten schweren Metalle, wägt man erst auf einer gewöhnlichen Wage, um ihr absolutes Gewicht zu finden, dann aber unter Wasser, um den Gewichtsverlust zu beobachten. So viel der Körper unter Wasser leichter erscheint, so viel wiegt die gleiche Raummenge Wasser. Wöge er z. B. außer dem Wasser 10 Loth, unter Wasser aber nur 8 Loth, so betrüge das Gewicht einer gleichen Raummenge Wasser 2 Loth, der Körper wäre also fünfmal so schwer als das Wasser, oder sein specifisches Gewicht wäre = 5. Man findet daffelbe stets, wenn man mit dem Gewichtsverluste im Wasser in das absolute Gewicht dividirt.

Feste Körper, welche auf dem Wasser schwimmen, ohne in demselben löslich zu sein, wägt man erst außer Wasser, und bestimmt auf diese Weise ihr absolutes Gewicht. Dann sucht man den Gewichtsverlust eines hinreichend schweren Metallgewichtes unter Wasser, bindet hierauf an dieses den zu

Digitized by Google

untersuchenden Körper, und wägt beide zusammen unter Wasser. Es offenbart sich jetzt ein größerer Gewichtsverlust, der von dem leichteren Körper herrührt. Soviel der Gewichtsverlust der beiden verbundenen Körper mehr beträgt, als der des Metallgewichtes allein, soviel wiegt das von dem leichteren Körper verdrängte Wasser. Dividirt man mit diesem Gewichte das absolute Gewicht des zu untersuchenden Körpers, so hat man sein specifisches Gewicht. Wöge z. B. außer Wasser der Körper 2 Loth und das Metallgewicht allein verlöre unter Wasser $^1/_4$ Loth, mit dem leichteren Körper zusammen aber $4^1/_4$ Loth, so wöge das von dem letzteren verdrängte Wasser 4 Loth; da er selbst nur 2 Loth schwer ist, so ist sein specifisches Gewicht $^2/_4 = ^1/_2$.

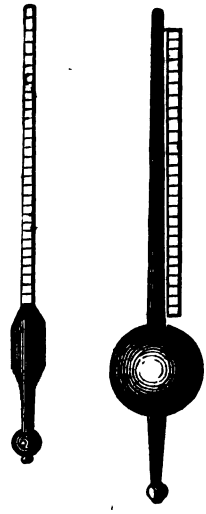
Feste Körper, welche im Wasser löslich sind, wägt man unter einer andern Flüssigkeit, von welcher sie nicht gelöset werden, und vergleicht dann das specifische Gewicht dieser Flüssigkeit mit dem des Wassers. Wöge z. B. ein Stück Steinsalz 100 Quentchen, unter reinem Weingeist aber nur 60 Quentchen, so betrüge der Gewichtsverlust 40 Quentchen. Weiß man nun, daß der Weingeist $^4/_5$ mal so schwer ist, als Wasser, so würde der Gewichtsverlust des Salzes, wenn man es unter Wasser wägen könnte, $^5/_4 \times 40 = 50$ Quentchen betragen; folglich betrüge das specifische Gewicht des Steinsalzes $^{100}/_{50} = 2$.

Zur Bestimmung des specifischen Gewichtes flüssiger Körper benutzt man oft ein Glas, welches genau 1000 Gran Wasser faßt. Füllt man dasselbe mit der zu untersuchenden Flüssigkeit, stellt es auf eine Wage und zieht von dem Gewichte das Gewicht des leeren Glases ab, so darf man nur den Rest durch 1000 dividiren, um das specifische Gewicht zu finden. Wiegt z. B. die zweite Flüssigkeit 1500 Gran, so beträgt ihr specifisches Gewicht $^{1500}/_{1000} = 1^1/_2$.

In Bierbrauereien und Branntweinbrennereien prüft man die Güte der Getränke durch die sogenannten Senkwagen oder Aräometer. Dies sind Glasröhren, welche unten, damit sie in einer Flüssigkeit schwimmen, eine große hohle Kugel,

Digitized by Google

unterhalb derselben aber, damit sie sich senkrecht halten, noch eine kleine mit Queckſilber gefüllte Kugel haben, und mit einem Maßſtabe (einer Scala) verſehen ſind. Zur Prüfung des Bieres wird die Bierwage angewendet, welche im Waſſer ganz einſinkt, und im Biere um ſo mehr ſteigt, je ſchwerer (beſſer) daſſelbe iſt. Daher hat die Scale ihren Nullpunkt oben. In gleicher Weiſe prüft man mittelſt der ähnlichen Salzſpindel die Güte des Salzwaſſers (der Soole). Weingeiſt iſt um ſo ſtärker, je geringer ſein ſpecifiſches Gewicht, alſo je leichter er iſt. Daher hat die Branntweinwage den Nullpunkt der Scala unten, und ſie ſinkt um ſo tiefer ein, je reicher an Weingeiſt der Branntwein iſt.



§ 58. Die Anhangskraft oder Adhäſion.

Tauchen wir einen Finger ins Waſſer, ſo wird er naß. Es findet alſo zwiſchen beiden Körpern eine Anziehung ſtatt, welche man das Anhängen oder die Adhäſion nennt. Sie offenbart ihre Thätigkeit ſowohl bei der Berührung zweier feſter, als bei der Berührung eines feſten und eines flüſſigen Körpers.

Wir nehmen wahr, daß ſich leichte Körper, welche auf einer Schüſſel voll Waſſer ſchwimmen, z. B. Nußſchalen, Korkſtückchen u. dgl. einander nähern, und endlich ſich an den Rand des Gefäßes begeben; ſie ziehen mithin einander an, und werden von dem Gefäße angezogen.

Gießt man Waſſer aus einem nur wenig geneigten Gefäße, ſo läuft ein Theil deſſelben an der äußeren Wand deſſelben hinab, weil es von derſelben angezogen wird.

Der Staub hängt ſich überall an, ſelbſt an die Wände und Decken der Zimmer.

Digitized by Google

Legt man zwei glatt geschliffene und polirte Glastafeln auf einander, so haften sie oft so fest an einander, daß man sie, ohne sie zu zerbrechen, nicht mehr zu trennen vermag.

Die Anhangskraft oder Adhäsion macht es möglich, daß wir schreiben, malen und zeichnen können, indem Theile des Bleistiftes, der Kreide, der Farbe, der Dinte am Papiere haften bleiben. Auch das Vergolden, Kitten, Löthen, Leimen, Kleistern, das Schweißen des Eisens, das Anstreichen und Lackiren beruhen auf der Adhäsion. Sie ist es ferner, welche es bewirkt, daß eine dünne Silberplatte, welche mit einer Kupferplatte zusammengewalzt wird, fest mit derselben verbunden bleibt (das sogenannte Plattiren).

Wasser, Weingeist, Oel benetzt Metalle, Glas, Holz, den menschlichen Körper. Aber das Wasser benetzt nicht fette, mit Wachs überzogene oder mit Hexenmehl (Bärlappsamen) bestreute Körper, sondern es bildet Tropfen darauf. Streut man auf ein Glas voll Wasser eine Schicht Hexenmehl, so kann man ein auf dem Boden des Glases liegendes Geldstück herausnehmen, ohne sich die Finger naß zu machen. Durch einen Anstrich mit Oelfarbe wird das Holz wasserdicht.

Queckfilber benetzt fast alle Metalle, indem es auf ihnen zerfließt und sich mit ihnen verbindet (amalgamirt); dagegen werden Holz, Glas, Porzellan, Leinewand, Papier, Eisen nicht von ihm benetzt, sondern es bildet Tropfen auf ihnen. Man kann es daher wohl in gläsernen und eisernen Gefäßen aufbewahren, nicht aber in solchen von Kupfer, Messing, Zinn u. s. w.

§ 59. Die Haarröhrchenziehung (Capillar-Attraction).

In einem Glase steht das Wasser an den Wänden etwas höher, als in der Mitte. Je enger das Gefäß (z. B. eine Glasröhre) ist, desto deutlicher nimmt man diese Erscheinung wahr. Taucht man eine sehr enge Glasröhre, ein sogenanntes Haarröhrchen, ins Wasser, so steigt dasselbe weit über den Wasserspiegel empor. Man nennt dies die Haarröhrchenziehung oder Capillar-Attraction. Sie beruht auf der

Digitized by Google

Anziehungskraft der Röhrenwände, in Folge deren das Wasser sich zunächst an diesen erhebt. Da aber die Röhre so eng ist, so fließt das an den Wänden emporgestiegene Wasser zusammen, und erhebt sich von Neuem. Alle Körper enthalten Zwischenräume, welche von der Materie des Körpers nicht ausgefüllt sind, und Poren genannt werden. Bei dem Badeschwamme nehmen wir sie mit bloßem Auge wahr, bei anderen Körpern zeigt sie uns das Vergrößerungsglas oder es zeugen besondere Erscheinungen von ihrem Vorhandensein.

In vielen Körpern bilden diese Poren Haarröhrchen, daher steigen Flüssigkeiten in ihnen empor. Deshalb wird ein Stückchen Zucker, welches nur theilweise im Wasser liegt, bald völlig naß; die Feuchtigkeit des Bodens steigt in den Steinen des Fundamentes eines Gebäudes und im Mauerwerk empor; Brückenpfähle sind höher hinauf naß, als sie im Wasser stehen; die Dinte zieht ins Löschpapier; das Oel oder der Weingeist steigt in dem Dochte der Lampe empor; der Badeschwamm saugt das Wasser ein; gespannte Stricke schwellen in der Feuchtigkeit und verkürzen sich. — Das Holz quillt in der Nässe an, daher kann man im Frühling und Herbste manche Fenster und Thüren gar nicht oder nur durch Anwendung bedeutender Gewalt öffnen, und auslaufende Kannen und Fässer werden wieder wasserdicht, wenn man sie ins Wasser legt. Quellendes Holz sprengt metallene Bänder, ja durch aufschwellende Wurzeln werden Felsen zersprengt. Mittelst quellender Erbsen treiben die Aerzte bei der Zergliederung der Leichname die durch Näthe fest verbundenen Schädelknochen aus einander.

Manche Körper erleiden schon durch die Aufnahme des in der Luft enthaltenen Wasserdunstes augenfällige Veränderungen, indem sie sich dadurch verlängern oder drehen. Dies thut z. B. die lange Borste (der Fruchtstiel) des gemeinen Drehmooses (Funaria hygrometrica) noch, wenn sie bereits Jahrelang im Herbarium liegt; man darf sie nur anhauchen oder mit einem Tröpfchen Wasser benetzen, so fängt sie an sich zu drehen. Solche Körper benutzt man als Hygrometer (Feuchtigkeits-

Digitized by Google

messer), um den Gehalt der Atmosphäre an Wasserdunst zu prüfen. (S. § 140.)

§ 60. Fragen und Aufgaben zur Wiederholung.

1. Welches sind die Eigenschaften eines tropfbar-flüssigen Körpers?
2. Warum fließt das Wasser in einer schiefen Ebene?
3. Warum kann man das Wasser ohne ein Gefäß nicht anhäufen?
4. Wobei wenden wir schiefe Ebenen an, um das Abfließen des Wassers zu befördern?
5. Welchen Nutzen gewährt das Fließen des Wassers?
6. Welche Richtung hat die Oberfläche eines stehenden Gewässers?
7. Bildet der Meeresspiegel eine wagrechte Ebene?
8. Bei welcher Gelegenheit nimmt man die Wölbung des Meeresspiegels wahr?
9. Ist die Oberfläche des Wassers in einem Glase oder in einer Röhre eine vollkommen wagrechte Ebene? (§ 59.)
10. Woran erkennt man, daß das Wasser, welches eine Welle bildet, sich nicht weiter bewegt?
11. Wie hoch wird auf dem offenen Meere ein Wellenberg höchstens, wie tief ein Wellenthal?
12. Was versteht man unter Interferenz der Wellen?
13. Welche Erscheinungen nimmt man bei sich durchkreuzenden Wellen wahr?
14. Nach welchen Richtungen hin übt das Wasser einen Druck aus?
15. Wodurch zeigt sich an einem Bierfasse der Seitendruck der Flüssigkeit?
16. Warum steigt das Wasser in den Schiffsraum, wenn der Boden des Schiffes ein Leck bekommt?
17. Wie lautet das Gesetz über den Druck des Wassers auf den Boden eines Gefäßes?
18. Wie kann man mit wenigem Wasser einen sehr bedeutenden Druck auf den Boden eines Gefäßes veranlassen?
19. Welche Form muß ein Gefäß haben, wenn bei möglichst großer Wassermenge der Druck, welchen der Boden erleidet, möglichst gering sein soll?
20. Wie ist die Real'sche Wasserpresse eingerichtet, und auf welches Gesetz gründet sich die Einrichtung derselben?
21. Was sind communicirende Röhren, und wie heißt das Gesetz über dieselben?
22. Warum steigt und fällt das Wasser in manchen Brunnen zugleich mit dem des benachbarten Flusses?
23. Wie kann man Wasser in Röhren über Hügel leiten?

Digitized by Google

24. Wie hoch darf das Ausgußrohr einer Wasserleitung höchstens liegen?
25. Wie veranlaßt man das Aufsteigen des Wassers in Röhren bis in die oberen Stockwerke der Gebäude?
26. Auf welche Weise erforscht man, wie hoch das Wasser oder eine andere Flüssigkeit in einem undurchsichtigen, allseitig geschlossenen Gefäße stehe?
27. Wie ist die Nivellirwage eingerichtet, und welchen Nutzen hat sie?
28. Was versteht man in der Physik unter Libellen?
29. Erleiden bei gleicher Wasserhöhe in einem weiten oder in einem engen Gefäße die Seitenwände einen größeren Druck?
30. Wie kann man mittelst communicirender Röhren den Seitendruck einer Flüssigkeit nachweisen?
31. Wie groß ist der Druck, den irgend eine Stelle in der Seitenwand eines Gefäßes erleidet?
32. Wenn man bei einem auf einer Spitze balancirten oder an einem Faden aufgehängten Gefäße voll Wasser plötzlich ein Loch in einer Seitenwand öffnet, nach welcher Seite fällt das Gefäß über?
33. Wie kann man den Seitendruck des Wassers als bewegende Kraft benutzen?
34. Wie ist das Segner'sche Wasserrad eingerichtet? Wie eine Turbine?
35. Wie legt man einen (hydrostatischen) Springbrunnen an?
36. Warum steigt der Strahl eines Springbrunnens nicht so hoch, als dies nach dem Gesetze über verbundene Röhren der Fall sein sollte?
37. Wie müssen die Bodenverhältnisse beschaffen sein, wenn ein artesischer Brunnen gebohrt werden soll?
38. Wie ist Wolf's anatomischer Heber eingerichtet?
39. Beschreibe Bramah's hydraulische Presse!
40. Warum ist ein Stein unter Wasser leichter als außerhalb desselben?
41. Ist ein Taucharbeiter leichter zu heben, so lange er sich unterhalb des Wasserspiegels befindet, oder wenn er bereits aus dem Wasser heraus ist?
42. Um wieviel wird ein Körper unter Wasser leichter?
43. Welche Körper sinken unter, welche schweben im Wasser, welche schwimmen auf demselben?
44. Wie tief taucht ein schwimmender Körper ein?
45. Warum sinkt ein eiserner Nagel im Wasser unter, während ein eisernes Schiff schwimmt?
46. Was thun die Fische, um ihr Steigen und Sinken im Wasser zu bewirken?
47. Wie muß sich ein des Schwimmens unkundiger Mensch verhalten, wenn er ins Wasser fällt und nicht ertrinken will?

Digitized by Google

48. Warum kann man leichter auf dem Rücken als auf dem Bauche schwimmen?
49. Warum sinkt ein Ertrinkender unter?
50. Warum steigt der Leichnam nach einigen Tagen empor?
51. Warum sinkt er abermals unter?
52. Warum erleichtern angehängte Thierblasen das Schwimmen?
53. Warum sinkt man nicht unter, wenn man einen Korkgürtel trägt?
54. Wie kann man untergesunkene Flußschiffe wieder emporbringen?
55. Trägt süßes oder salziges Wasser größere Lasten?
56. Wie bestimmt man die Tragkraft der Schiffe?
57. Beschreibe den cartesianischen Taucher!
58. Was ist absolutes, was specifisches Gewicht?
59. Welches wird durch eine benannte, welches durch eine unbenannte Zahl bezeichnet?
60. Gieb das specifische Gewicht einiger Metalle an!
61. Wie wird das specifische Gewicht gefunden?
62. Was sind Aräometer oder Senkwagen?
63. Wie unterscheidet sich die Bierwage von der Branntweinwage?
64. Gieb Adhäsions-Erscheinungen an!
65. Beschreibe den Vorzug bei der Haarröhrchenziehung!
66. Was sind hygroscopische Körper?

Dritter Abschnitt.

Vom Gleichgewichte und von der Bewegung luftförmiger Körper.

§ 61. Die Eigenschaften der luftförmigen Körper.

Wie wir bei der Lehre von dem Gleichgewichte und von der Bewegung tropfbar-flüssiger Körper fast ausschließlich den wichtigsten derselben, das Wasser, betrachteten, so werden wir jetzt, indem wir unsere Aufmerksamkeit den luftförmigen Körpern zuwenden, wiederum vorzugsweise denjenigen von ihnen ins Auge fassen, der die bedeutsamste Rolle in dem großen Haushalte der Natur spielt: die atmosphärische Luft, welche die ganze Erde in einer Höhe von 8—10 Meilen umgiebt.

Wir vergegenwärtigen uns zunächst aufs Neue, was wir § 2. über die luftförmigen Körper erwähnt haben.

Digitized by Google

Wenn die Theile eines Körpers sich gegenseitig dergestalt anziehen, daß eine gewisse Gewalt dazu erfordert wird, um sie von einander zu trennen, so nennen wir bekanntlich den Körper einen *festen* oder *starren*.

Weit geringer erscheint der Zusammenhang der Theile bei einem *tropfbar-flüssigen* Körper, indem sich dieselben leicht trennen lassen und sich bei jeder Bewegung verschieben.

Die Theile eines *luftförmigen* Körpers aber haben unter sich *gar keinen Zusammenhang*; bei ihnen findet *keine gegenseitige Anziehung* statt, vielmehr äußern sie *das Bestreben, sich immer weiter von einander zu entfernen*. Diese merkwürdige Eigenschaft nennt man die *Ausdehnsamkeit* oder *Spannkraft* der luftförmigen Körper. Die Luft besitzt eine *einseitige Elasticität*; während ein fester elastischer Körper (z. B. eine Uhrfeder, gummi elasticum) nicht allein sich wieder ausdehnt, nachdem man ihn zusammengepreßt hatte, sondern auch sich wieder zusammenzieht, wenn er ausgedehnt wurde, zeigt die Luft nur die *erstere* dieser Erscheinungen. Sie dehnt sich aber nicht nur aus, wenn sie zuvor zusammengepreßt wurde, sondern auch, wenn sie bereits in hohem Grade ausgedehnt ist, strebt sie nach immer größerer Ausdehnung. Ist jedoch die *Wärme* die Ursache der Ausdehnung der Luft, so zieht sich dieselbe bei abnehmender Wärme wieder zusammen.

Das Bestreben der Luft, sich auszudehnen, offenbart sich dadurch, daß sie jeden sich ihr darbietenden leeren Raum augenblicklich erfüllt. Gießen wir z. B. das Wasser aus einem Gefäße aus, so tritt sofort Luft an die Stelle des Wassers; graben wir ein Loch in den Boden — es ist schon im Augenblicke seines Entstehens mit Luft gefüllt.

Da alle luftförmigen Körper sich nach allen Richtungen hin ausdehnen, so ordnen sie sich keineswegs schichtenweise über einander, etwa wie das leichtere Oel auf dem Wasser schwimmt; mehrere mit einander in Verbindung tretende Luftarten (Gase) mengen sich vielmehr vollständig, so daß sich das schwerere auch

Digitized by Google

nach oben, das leichtere auch nach unten ausbreitet. Man nennt diese Erscheinung die Diffusion (Untereinandermischung) der Gase.*

Eine andere wichtige Eigenschaft der Luft ist ihre Zusammendrückbarkeit. Bei tropfbaren Flüssigkeiten ist dieselbe äußerst gering. Man hat Versuche hierüber angestellt, und gefunden, daß die drei Zoll starken Wände von Kanonenröhren, die man mit Wasser angefüllt hatte, zersprangen, ehe man das Wasser um $^1/_{20}$ seines Rauminhaltes zusammengepreßt hatte. Taucht man dagegen ein leeres, d. h. mit Luft gefülltes Glas, dessen Oeffnung man nach unten kehrt, senkrecht in ein mit Wasser gefülltes Gefäß, so wird die Luft in dem Glase in einen immer kleineren Raum zusammengedrängt, je kräftiger man dasselbe abwärts drückt; der oberste Theil des Glases aber bleibt immer frei von Wasser, da die eingeschlossene Luft das weitere Eindringen desselben verhindert.

Je stärker die Luft zusammengepreßt wird, desto größer wird ihre Spannkraft, desto bedeutender ist also der Widerstand, den sie dem auf sie drückenden Körper entgegensetzt, und die Gewalt, mit der sie sich auszudehnen sucht. Dies zeigt z. B. die Klystir- und die Handfeuerspritze. Ist das Rohr derselben zum Theil mit Wasser gefüllt, und man stößt den Kolben hinein, so wird die zwischen diesem und dem Wasser befindliche Luft stark zusammengepreßt; sie gewinnt dadurch an Spannkraft und treibt, indem sie sich heftig ausdehnt, einen Wasserstrahl zu der engen Oeffnung der Spritze mit bedeutender Kraft hinaus. Verdichtet man die Luft in einem Blaserohre, indem man einen Luftstrom hineinbläset, so treibt sie, indem sie sich ausdehnt, den vermöge seines Büschels von Zeugfäden fest anschließenden Nagel auf eine ziemliche Strecke fort. Aehnliches bewirken die Knaben bei ihrer Hollunderbüchse, die an dem einen Ende durch einen Wergpfropf luftdicht verschlossen ist, indem sie mittelst des Stempels einen zweiten Pfropf

* S. des Verfassers Laien-Chemie, Langensalza, Schulbuchhandlung, 2. Aufl. S. 23.

Digitized by Google

in die Röhre treiben. Die zwischen den beiden Pfropfen zusammengepreßte Luft dehnt sich so gewaltsam aus, daß der hintere Pfropf weit fortgeschleudert wird. — Man fülle ein Arzneifläschchen etwa zu zwei Drittel mit Wasser, und verstopfe es mit einem gut anschließenden Korke, den man mittelst einer runden Feile durchbohrt hat. Durch das Bohrloch schiebe man eine genau anschließende Glasröhre, die oben in eine feine Spitze ausläuft, fast bis auf den Boden der Flasche, so daß die Spitze über den Kork vorragt. Bläst man nun mittelst des Mundes Luft in die Röhre und entfernt sie dann schnell vom Munde, so springt ein Wasserstrahl daraus empor. Durch das Einblasen wurde die Luft in der Flasche verdichtet; indem sich dieselbe ausdehnt, drückt sie das Wasser in die Röhre empor und treibt es zu der Oeffnung derselben heraus. Man nennt ein solches Spritzglas den Heronsball nach seinem Erfinder, dem Naturforscher Heron, welcher etwa 100 Jahre vor Christo zu Alexandria lebte.

Das Naturgesetz:

Die Spannkraft der Luft nimmt mit zunehmendem Drucke gleichmäßig zu —

heißt nach seinem Entdecker das Mariotte'sche Gesetz. Doch ist hierbei zu berücksichtigen, daß, wenn die Luft durch den Einfluß der Wärme ausgedehnt wird, ihre Spannkraft zunimmt; das Mariotte'sche Gesetz gilt daher nur von der Luft bei unverändertem Wärmegrade.

Die dritte höchst bedeutsame Eigenschaft der Luft ist die, daß sie vermöge ihrer Schwere einen Druck ausübt, welcher sich nach allen Seiten und Richtungen hin gleichmäßig fortpflanzt.

Gleich den festen und tropfbar-flüssigen Körpern ist die Luft dem Gesetze der Schwere unterworfen, sie wird also gleich diesen von der Erde angezogen. Wäre dies nicht der Fall,

Digitized by Google

so würde sie in Folge ihres Strebens, sich beständig auszudehnen, sich immer weiter von der Erde in den Weltraum hinaus verbreiten.

Wägt man eine große hohle Glaskugel einmal, nachdem man sie mittelst der Luftpumpe (§ 73) luftleer gemacht hat, das andere Mal, wenn sie voll Luft ist, so findet man, daß sie im letzteren Falle mehr wiegt, und zwar beträgt das Gewicht der in ihr enthaltenen Luft $^1/_{770}$ der gleichen Raummenge Wasser.

Weil die Luft schwer ist, so übt sie zunächst, wie alle Körper, einen Druck nach unten aus; daher sind die unteren Luftschichten der Atmosphäre stärker zusammengedrückt, als die oberen. Oeffnet man eine in der Ebene luftdicht verschlossene Flasche auf einem hohen Berge, so dringt die in ihr enthaltene dichtere Luft zum Theil heraus, weil die dünnere Luft des Berges ihr nicht genügenden Widerstand zu leisten vermag. Oeffnet man dagegen eine auf einem Berge mit Luft gefüllte Flasche in der Ebene, so dringt die äußere Luft in dieselbe hinein.

Da sich wegen der leichten Verschiebbarkeit der Lufttheilchen der Druck der Luft nach allen Richtungen fortpflanzt, so ist die Luft in einem Zimmer eben so stark zusammengedrückt, also eben so dicht, als die Luft im Freien, und jede Ab- und Zunahme des Luftdrucks unter freiem Himmel äußert sich ebenso im Zimmer. Daher zeigt das Barometer (§ 69), obschon es innerhalb eines Zimmers hängt, dennoch den Druck der Luft eben so genau an, als hinge es im Freien.

§ 62. Einige Erscheinungen, welche sich auf die Eigenschaften der Luft gründen.

1. Eine mit Luft gefüllte Blase läßt sich zusammendrücken, und dehnt sich bei nachlassendem Drucke wieder von selbst aus. Eben so elastisch zeigen sich die aufgeblasenen Backen. Man verfertigt Bälle aus Gutta percha, welche mit Luft gefüllt und äußerst elastisch sind; ebenso kann man Matratzen und Kissen mit Luft füllen.

Digitized by Google

2. Wenn man einen genau anschließenden Kolben in eine an ihrem unteren Ende verschlossene Röhre treibt, so wird er von der zusammengepreßten und sich wieder ausdehnenden Luft wieder zurückgedrängt. Eine derartige Vorrichtung kann man als Feuerzeug (Luftfeuerzeug, pneumatisches Feuerzeug, Mollet's Pumpe) gebrauchen, indem man an die innere Fläche des Kolbens ein Stückchen Feuerschwamm befestiget. Wird nun der Kolben heftig hinabgestoßen, so entzündet sich der Schwamm in Folge der Reibung der Luft.

3. Füllt man eine Flasche mit Wasser, und hält sie dann verkehrt in ein mit Wasser gefülltes Gefäß, so daß ihre Mündung unterhalb des Wasserspiegels liegt, so läuft nichts aus der Flasche heraus; die in ihr enthaltene Wassersäule wird durch die auf das Gefäß drückende Luft getragen. Sperrt man aber die Mündung der Flasche nicht durch Wasser ab, so drängt sich Luft an den Wänden derselben hinauf und drückt das Wasser heraus. Das Ausfließen geschieht jedoch nicht gleichmäßig, sondern ruckweise mit einem eigenthümlichen gluckfenden Geräusche. Hat sich nämlich etwas Luft in die Flasche hinaufgedrängt, so läuft ein Theil des Wassers vermöge seiner Schwere aus derselben, weil die Spannkraft der äußeren Luft der inneren gleich ist. Sobald aber ein Theil des Wassers ausgeflossen ist, hat sich die oberhalb des in der Flasche enthaltenen Wassers befindliche Luft in dem vergrößerten Raume ausgedehnt und an Spannkraft verloren, daher hört das Ausfließen auf. Im nächsten Augenblicke drängen sich jedoch bereits wieder Luftblasen durch das Wasser hinauf, und indem auf diese Weise der Druck der eingeschlossenen Luft wieder stärker wird, beginnt der Ausfluß abermals, und so geht es fort, bis die Flasche leer ist.

Statt der Absperrung der in einem Glase enthaltenen Flüssigkeit durch Wasser kann man dieselbe auch durch ein Blatt steifes Papier bewirken. Bedeckt man mit solchem ein Glas Wasser ganz genau, so kann man dasselbe umkehren, ohne daß die Flüssigkeit ausläuft; man darf aber die Hand, welche das Papier andrückt, erst loslassen, nachdem man das Glas umgekehrt hat.

Digitized by Google

Ist die Mündung des gefüllten Gefäßes sehr eng, so bedarf es nicht einmal eines Verschlusses derselben durch Papier (s. unten § 66). Oeffnet man den Hahn eines vollen Bierfasses, so fließt nichts heraus, wenn man nicht das große Spundloch öffnet. Ebenso läuft oft aus der Theekanne kein Thee, wenn man das in ihrem gut schließenden Deckel befindliche Loch verstopft.

4. Saugt man aus einem Fingerhute, aus einem Nadelbüchschen, einer Federbüchse, einem hohlen Schlüssel u. dgl. die Luft aus, so bleiben diese Gegenstände an den Lippen hängen; sie werden durch den Druck der äußeren Luft festgehalten. Aehnlich ist die Erscheinung bei den Schröpfköpfen; bei diesen wird jedoch die in ihnen enthaltene Luft nicht durch Saugen entfernt, sondern durch Erwärmung über einer Lichtflamme verdünnt. Die stärkere äußere Luft drückt den Schröpfkopf ins Fleisch ein, die im Innern des Körpers enthaltene dichtere Luft treibt das Fleisch in die Höhlung und ebenso das Blut, wenn nach erfolgter Aufritzung der Haut der Schröpfkopf zum zweiten Male aufgesetzt wird.

5. Der Tabackraucher saugt die Luft aus dem Rohre seiner Peife, so daß dasselbe zwar nicht völlig luftleer wird, aber doch sehr verdünnte, daher geringe Spannkraft besitzende Luft enthält. Augenblicklich sucht die äußere Luft, welche dichter, daher elastischer ist, das Gleichgewicht wieder herzustellen, und indem sie ihren Weg durch die Zwischenräume des im Pfeifenkopfe enthaltenen Tabacks nimmt, führt sie zugleich den Dampf durch das Rohr hinauf in den Mund des Rauchenden.

Aehnliches geschieht, wenn man an dem oberen Ende eines ins Wasser gehaltenen Röhrchens, z. B. eines Strohhalms, saugt. Die Luft, welche auf das Wasser drückt, dringt in den mehr oder minder entleerten Raum, und treibt das Wasser in demselben empor.

Digitized by Google

§ 63. Wichtige Werkzeuge, welche sich auf die Eigenschaften der Luft gründen.

Wenn wir das Vorhergehende vollkommen aufgefaßt, wenn wir insbesondere uns fest eingeprägt haben, daß die Luft das Bestreben hat, sich in einen immer größeren Raum auszudehnen, daß sie aber auch in hohem Grade zusammendrückbar ist, wobei ihre Spannkraft zunimmt, und daß sie einen bedeutenden Druck ausübt, der sich nach allen Richtungen fortpflanzt: dann werden wir die Einrichtung mannigfaltiger, zum Theil äußerst wichtiger Werkzeuge leicht verstehen, von denen nunmehr die Rede sein soll. Es sind dies: der Blasebalg, die Taucherglocke, der Stechheber, der Saugheber, die Wasserpumpe, das Barometer, die Compressionspumpe und die Windbüchse, die Feuerspritze, die Schiebelampe, die Luftpumpe, die atmosphärische Eisenbahn nebst dem atmosphärischen Telegraphen und der Luftballon.

§ 64. Der Blasebalg.

Der Blasebalg, den man in kleiner Form in den Küchen, in größerer in Schmiedewerkstätten, Schmelzhütten u. dgl. zum Anfachen des Feuers, in den Orgeln zur Herstellung des zur Erzeugung der Töne erforderlichen Luftstroms anwendet, besteht aus zwei Holzplatten, welche an dem vorderen Ende durch Leder verbunden sind, an dem hinteren aber sich von einander entfernen lassen. Durch Seitenbrettchen, welche ebenfalls durch Belederung zusammengehalten werden, bilden sich bei dem Aufziehen des Balges eine oder mehrere Falten, so daß ein ringsum verschlossener Raum entsteht. Dieser hat zwei Oeffnungen. Die eine derselben befindet sich in der Unterplatte, und sie ist durch eine einfache oder doppelte Klappe, die sich nur nach innen öffnet und das Schöpfventil heißt, verdeckt. Die zweite Oeffnung ist bei den meisten Blasebälgen an dem vorderen Ende, und es ist eine Röhre in dieselbe eingesetzt. Zieht man den Blasebalg auf, so entsteht ein fast luftleerer Raum innerhalb desselben, in welchen die äußere Luft durch die Röhre und das Schöpfventil sofort einströmt. Wird nun der Blasebalg zusammengedrückt,

Digitized by Google

so strömt die in ihm enthaltene Luft, die das Schöpfventil verschließt und sich dort selbst den Ausgang versperrt, zu der Röhre hinaus. Bei den Blasebälgen der Orgel ist statt der offnen Röhre ein zweites Ventil in der Unterplatte, welches sich aber nach außen öffnet. Sinkt nun die mit Gewichten beschwerte Oberplatte nieder, so strömt die Luft durch dieses Ventil aus; sie gelangt jedoch nicht ins Freie, sondern in eine hölzerne Röhre, den Kanal, der sie dem Pfeifenwerke zuführt.*

§ 65. Die Taucherglocke.

§ 61. war davon die Rede, daß ein verkehrt ins Wasser getauchtes leeres Glas sich nie vollständig mit Wasser füllt, indem die eingeschlossene Luft sich nur bis zu einem gewissen Grade zusammendrücken läßt, dann aber das weitere Emporsteigen des Wassers verhindert. Je größer das bei einem solchen Versuche angewendete Glas ist, desto größer ist natürlich auch die abgesperrte Luftmenge, desto größer mithin auch der von Wasser frei bleibende Raum. Auf diese Erfahrung gründet sich die Taucherglocke, mittelst deren sich Menschen in die Tiefe des Wassers hinablassen, um auf dem Grunde desselben Untersuchungen anzustellen oder dort befindliche Gegenstände aufzusuchen und heraufzubringen. Statt der früher gebräuchlichen Glockenform wendet man jetzt in der Regel die eines viereckigen unten offenen Kastens von Gußeisen an. Durch starke Glasfenster fällt das erforderliche Licht ein, und durch einen von der Decke aus nach der Oberfläche des Wassers führenden Schlauch wird von oben Luft in die Glocke geschafft. Der Schlauch hat nämlich an seinem unteren Ende eine Klappe (ein Ventil), welche sich nur nach dem Inneren der Glocke öffnet, also wohl Luft in dieselbe herein-, aber nicht hinauslässt. Das Hinabtreiben der Luft geschieht durch eine Verdichtungs- oder Compressionspumpe (s. unten § 70); durch die zuströmende Luft wird endlich alles Wasser aus der

* Eine genauere Beschreibung der Orgelbälge enthält des Verfassers Vorschule der musikalischen Composition. Langensalza, Schulbuchhandlung, 4. Aufl.

Digitized by Google

Glocke verdrängt, so daß die in derselben befindlichen Arbeiter ungehindert ihren Verrichtungen nachkommen können. — Mittelst solcher Taucherglocken ist es schon öfters gelungen, werthvolle Gegenstände, welche bei einem Schiffbruche versunken waren, wieder ans Tageslicht zu bringen.

§ 66. Der Stechheber.

Taucht man eine oben und unten offene enge Röhre in Wasser, so stellt sich dasselbe darin so hoch, als es in dem Gefäße selbst steht (§ 52). Verschließt man nun die obere Oeffnung mit dem Daumen und hebt die Röhre aus dem Wasser, so fließen zwar zuerst einige Tropfen aus, dann aber bleibt die Flüssigkeit trotz der nach unten gekehrten Oeffnung in der Röhre hangen, so daß man mit derselben umher gehen kann. Zieht man den Daumen von der oberen Oeffnung hinweg, so läuft die Flüssigkeit aus; das Ausfließen wird aber sogleich wieder unterbrochen, wenn man den Daumen aufs Neue aufsetzt.

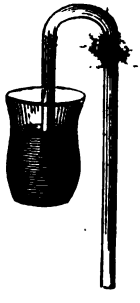
Offenbar ist es der Druck der äußeren Luft, welcher das Ausfließen verhindert. Im ersten Augenblicke befindet sich oberhalb des Wassers in der Röhre Luft, welche der äußeren Luft an Spannkraft gleich ist, daher folgt das Wasser dem Gesetze der Schwere, und fängt an auszulaufen. Dadurch wird jedoch der Raum vergrößert, den die abgesperrte Luft ausfüllt; sie dehnt sich aus, verliert an Dichtigkeit und somit an Spannkraft; die stärkere äußere Luft gewinnt das Uebergewicht und trägt die Wassersäule. Gestattet man aber der Luft oberhalb derselben den Zutritt, so ist der Luftdruck oben und unten gleich, und das Wasser läuft aus.

Wenn man die so eben besprochene Vorrichtung, die man den Stechheber nennt, im praktischen Leben anwendet, z. B. um Wein aus einem Fasse in ein Glas zu bringen, so macht man die (Metall- oder Glas-) Röhre in der Mitte bauchig, und giebt ihr oben nur eine kleine, mit dem Daumen leicht verschließbare Oeffnung.

Digitized by Google

Taschenspieler gebrauchen zuweilen bei ihren Kunststücken den sogenannten Zaubertrichter. Dies ist ein Trichter mit doppelten Wänden, die am oberen Rande fest verbunden sind, und zwischen denen sich ein leerer Raum befindet. Oben hat die Außenwand ein wenig bemerkliches Loch, welches man wie bei dem Stechheber leicht mit dem Daumen verschließen kann. Taucht man nun den Trichter in irgend eine Flüssigkeit, und hebt ihn wieder heraus, indem man das Loch zuhält, so scheint er leer, aber zwischen seinen Wänden befindet sich jene Flüssigkeit, die man durch Oeffnen des Loches ganz oder theilweise ausfließen lassen kann.

§ 67. Der Saugheber.

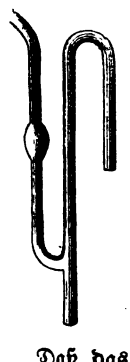


Man verschaffe sich eine gebogene Glas-* oder Metallröhre mit einem kürzeren und einem längeren Schenkel, tauche ersteren in ein volles Wasserglas, so daß er fast den Boden berührt, und sauge aus dem längeren die Luft aus. So wie dies geschieht, wird durch den Druck der äußeren Luft das Wasser in der kurzen Röhre des Instrumentes, welches der Saugheber heißt, emporgetrieben, und fließt zu dem längeren Schenkel aus, so lange die Oeffnung des kurzen Schenkels noch ins Wasser taucht und die Oeffnung des

* Die dünnen Glasröhren, welche in Glaswaaren-Handlungen käuflich sind, pflegen gerade zu sein, man kann sie jedoch leicht biegen, indem man die Stelle, wo die Biegung gemacht werden soll, in die Flamme einer Weingeist- (Spiritus-) Lampe hält, und die Röhre zwischen den Fingern langsam dreht. Das Glas fängt an der erhitzten Stelle an zu glühen, wird weich und kann mittelst beider Hände umgebogen werden. S. des Verfassers Laien-Chemie, Langensalza, Schulbuchhandlung.

Digitized by Google

langen Schenkels tiefer liegt, als der Wasserspiegel in dem Gefäße. Der Heber zeigt demnach die auffallende Erscheinung einer aus einem Wasserbehälter über den Wasserspiegel sich erhebenden Strömung des Wassers nach oben. Mittelst eines solchen Saughebers kann man sehr schnell große Gefäße entleeren. Da das Saugen an dem abwärts hängenden langen Schenkel in der Regel unbequem ist, da man überdies dabei etwas von der Flüssigkeit in den Mund bekommt, was unangenehm und schädlich sein kann, so giebt man oft dem Heber ein besonderes Saugrohr, an dessen nach oben gerichteter Mündung man bequemer und ohne etwas in den Mund zu bekommen saugen kann. Während des Saugens an einem solchen Saugrohre muß man die untere Oeffnung des langen Schenkels so lange fest zuhalten, bis er voll ist.



Man kann auch den Heber ganz vollgießen, und, indem man seine beiden Oeffnungen verschließt, den kürzeren Schenkel unter die Oberfläche der Flüssigkeit bringen, worauf man erst diesen, dann den längeren öffnet.

Daß das Wasser in dem Heber, nachdem die Luft in demselben durch das Saugen sehr verdünnt ist, durch den auf dem Wasserspiegel des Gefäßes lastenden Luftdruck emporgetrieben werden muß, ist leicht einzusehen; schwerer zu begreifen ist das ununterbrochene Fortfließen. Hierbei erwäge man Folgendes.

In beiden Schenkeln wird, sobald sie gefüllt sind, das Wasser von der Luft gleichstark nach oben gedrückt; in dem längeren unmittelbar, in dem kürzeren mittelbar durch das Wasser in dem Gefäße. Diesem Luftdrucke wirkt das Gewicht des Wassers entgegen, und zwar in dem längeren Schenkel wegen der größeren Wassermasse bedeutender als in dem kürzeren. Daher hat der auf dem kürzeren Schenkel lastende Luftdruck das Uebergewicht und treibt das Wasser durch den längeren Schenkel fort. Eine Lücke zwischen den Wassermassen beider Schenkel kann sich nicht bilden, denn in demselben Augenblicke, da sie entstände, wäre ein

Digitized by Google

luftleerer Raum vorhanden, den der Druck der äußeren Luft sofort mit Wasser füllen würde.

Da sich nun die beiden Wassersäulen nicht trennen können, so müssen sie gewissermaßen einen zusammenhängenden Wasserfaden bilden, bei welchem der längere Theil im äußeren Schenkel das Uebergewicht hat, und, dem Gesetze der Schwere folgend, herabsinkt, wobei ihm die ganze Wassermasse folgen muß. Kommt dagegen die Ausflußöffnung des äußeren Schenkels in gleiche Höhe mit dem Wasserspiegel des Gefäßes, so tritt das Gleichgewicht ein, und der Heber hört auf zu fließen. Bei dieser Vergleichung der Höhe der beiden Wassersäulen kommt hinsichtlich des inneren Schenkels nur der über den Wasserspiegel emporragende Theil in Betracht, denn soweit dieser Schenkel im Wasser befindlich ist, füllt er sich ohne den Luftdruck nach dem Gesetze über communicirende Röhren. Daher ist es auch nicht nothwendig, daß der äußere Schenkel an und für sich länger sei, als der innere, letzterer kann vielmehr auch der längere sein; wenn nur die Außflußmündung des äußeren tiefer liegt als der Wasserspiegel des Gefäßes, so fließt der Heber doch.

Enthält das Gefäß verschiedene Flüssigkeiten von ungleichem specifischem Gewicht, von denen sich natürlich die schwerere dem Boden am nächsten befindet, so kann man diese mittelst des Saughebers herausbringen, ohne die obere auszuschöpfen.

Den Vexir- oder Zauberbecher kann man als Trinkgefäß gebrauchen; gießt man ihn aber ganz voll, so läuft die in ihm enthaltene Flüssigkeit unten völlig aus. Er enthält nämlich einen in der Wand und im Henkel verborgenen Heber, dessen kurzer Schenkel bis an den Boden des Becherraumes hinabgeht, während der längere sich unten am Fuße des Bechers öffnet. Gießt man nun etwas Wasser in den Becher, so füllt sich zwar der kurze Schenkel eben so hoch mit, aber es kommt nichts in den langen Schenkel. Füllt

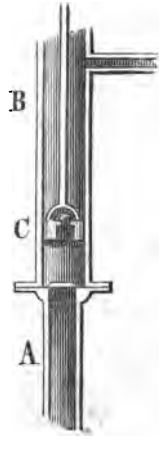
Digitized by Google

man aber den Becher ganz, so erreicht das Wasser den höchsten Punkt des Hebers und gelangt in den langen Schenkel, durch den es unten ausläuft.

Damit erklärt man die sogenannten Hungerbrunnen, so wie den Vorgang bei dem Cirknitzer See in Krain und ähnlichen Wunderseen. Diese haben nämlich bei trockner Zeit Wasser, bei lange dauerndem Regenwetter aber werden sie trocken. Man nimmt an, daß unterirdische Höhlen bei ihnen vorhanden seien, welche in gleicher Weise wirken, wie der Heber bei dem Vexirbecher.

Merkwürdig ist die Anwendung des Hebers im Großen bei dem Kanal von Languedoc oder dem Mittagskanal (canal du midi) in Frankreich. Er läuft an Bergen hin, die ihre Gewässer in ihn ergießen, wodurch leicht Ueberfluthungen eintreten könnten. Diese werden durch große gemauerte Heber verhütet, deren kurzer Schenkel bis an den Boden des Kanals reicht, während der längere am Abhange des Gebirges hinabgeht. Füllen sich die kurzen Schenkel der Heber, so fängt das Wasser an abzulaufen, und der Kanal würde bald ganz wasserleer sein. Um dies zu verhindern, hat der kurze Schenkel in bestimmter Höhe ein Loch. Ist der Wasserspiegel bis zu diesem gesunken, so drückt die Luft durch dasselbe nach unten, es steigt kein Wasser mehr empor, und das Abfließen hat ein Ende.

§ 68. Die Wasserpumpe.



Ihre Construction geht aus der nebenstehenden Zeichnung deutlich hervor. Das Saugrohr A reicht in einen Wasserbehälter hinab. An seinem oberen Ende ist es mit einem weiteren Rohre, dem Pumpenrohre oder Stiefel B luftdicht verbunden. An der Vereinigungsstelle beider Röhren wird das Saugrohr durch eine nur nach oben sich öffnende Klappe, das Bodenventil verschlossen. In dem

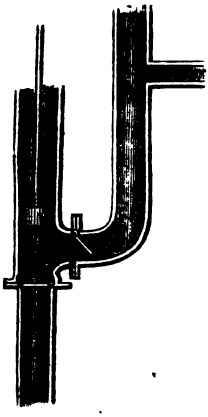
Digitized by Google

Stiefel befindet sich ein luftdicht schließender **Kolben** C, welcher mittelst eines an die Kolbenstange befestigten ungleicharmigen Hebels (Schwengels) auf und nieder bewegt werden kann. Dieser Kolben ist senkrecht durchbohrt, und das Bohrloch ist durch eine ebenfalls aufwärts sich öffnende Klappe, das **Kolbenventil**, geschlossen. In der erforderlichen Höhe ist in dem Stiefel das **Ausgußrohr** angebracht, aus welchem bei dem Pumpen das Wasser ausströmt.

Denken wir uns zunächst den Kolben in seiner niedrigsten Stellung, so daß er auf dem Saugrohre ruht. Beide Ventile sind geschlossen. Wird nun der Schwengel niedergedrückt, so steigt der Kolben in die Höhe, und es entsteht zwischen ihm und dem Bodenventile ein Raum mit sehr verdünnter Luft. Die dichtere Luft in dem Saugrohre stößt sofort das Bodenventil auf, und dringt in den Raum unter dem Kolben; dadurch verdünnt sich aber zugleich die Luft in dem Saugrohre, die äußere Luft drückt auf das Wasser des Wasserbehälters, und dieses steigt in dem Saugrohre empor. Nun wird der Kolben niedergedrückt. Die eingeschlossene Luft drückt das Bodenventil zu und versperrt sich den Weg nach unten; daher stößt sie das Kolbenventil auf, tritt über den Kolben und kann nicht mehr zurück, weil sie das Ventil festdrückt. Bei dem abermaligen Emporziehen des Kolbens wiederholen sich dieselben Vorgänge. Es tritt aufs Neue Luft aus dem Saugrohre über das Bodenventil, die beim Niedergange des Kolbens durch das Kolbenventil entweicht, und das Wasser im Saugrohre steigt höher. Bei fortgesetztem Pumpen tritt **Wasser** aus dem Saugrohre unter den Kolben, dringt beim Niedergange des Kolbens durch dessen Ventil über denselben, und wird bis zum Ausgußrohre emporgehoben, aus welchem es ausfließt.

Mittelst der so eben beschriebenen **Saugpumpe** kann man jedoch das Wasser nicht bis zu jeder beliebigen Höhe emporbringen, denn das Saugrohr darf höchstens 32 Fuß über den Wasserspiegel vorragen (s. § 69). Soll das Wasser höher gehoben werden, so wendet man die **Saug- und Druckpumpe** an. Diese hat nur ein kurzes Saugrohr, und im Kolben kein

Digitized by Google



Ventil. Dagegen führt aus dem unteren Theile des Stiefels ein Steigrohr empor, welches am Grunde ein nach oben sich öffnendes Seitenventil hat. Entsteht nun durch das Aufziehen des Kolbens zwischen ihm und dem Bodenventile ein luftverdünnter Raum, so schließt sich das Seitenventil vermöge des Druckes der Luft im Seitenrohre, und das Wasser dringt — wie bei der gewöhnlichen Saugpumpe — durch das Bodenventil hervor. Beim Niedergange des Kolbens aber wird das Wasser durch das Seitenventil in das Steigrohr gedrängt, aus welchem es nicht zurückfließen kann, weil es das Seitenventil zudrückt. Bei fortgesetztem Pumpen steigt es in dem Steigrohr immer höher, bis es zu dem in beliebiger Höhe liegenden Ausgußrohre gelangt.

§ 69. Das Barometer.

Wir wissen (§ 61), daß die Luft vermöge ihres allseitigen Druckes und ihrer Spannkraft jeden ihr zugänglichen leeren Raum augenblicklich ausfüllt, und daß sie, wenn ein beweglicher Körper, z. B. das Wasser, ihr den unmittelbaren Zutritt wehrt, diesen Körper in den leeren Raum drängt. Die Vorgänge bei der Saugpumpe (§ 68) haben uns dies auf das deutlichste gezeigt.

Schon vor alten Zeiten war diese Erscheinung den Naturforschern bekannt, nicht aber der wahre Grund derselben; sie meinten vielmehr: die Natur habe einen Abscheu vor dem leeren Raume, und diese Ansicht erhielt sich Jahrhunderte lang. Nun sollte im 17. Jahrhundert in einem fürstlichen Garten zu Florenz mittelst einer Saugpumpe Wasser zu einer ungewöhnlichen Höhe gehoben werden. Man arbeitete alle Theile der Pumpe höchst sorgfältig, aber siehe da! das Wasser in dem Saugrohre stieg nicht höher als 32 Fuß; hatte es diese

Digitized by Google

Ist die Mündung des gefüllten Gefäßes sehr eng, so bedarf es nicht einmal eines Verschlusses derselben durch Papier (s. unten § 66). Oeffnet man den Hahn eines vollen Bierfasses, so fließt nichts heraus, wenn man nicht das große Spundloch öffnet. Ebenso läuft oft aus der Theekanne kein Thee, wenn man das in ihrem gut schließenden Deckel befindliche Loch verstopft.

4. Saugt man aus einem Fingerhute, aus einem Nadelbüchschen, einer Federbüchse, einem hohlen Schlüssel u. dgl. die Luft aus, so bleiben diese Gegenstände an den Lippen hängen; sie werden durch den Druck der äußeren Luft festgehalten. Aehnlich ist die Erscheinung bei den Schröpfköpfen; bei diesen wird jedoch die in ihnen enthaltene Luft nicht durch Saugen entfernt, sondern durch Erwärmung über einer Lichtflamme verdünnt. Die stärkere äußere Luft drückt den Schröpfkopf ins Fleisch ein, die im Innern des Körpers enthaltene dichtere Luft treibt das Fleisch in die Höhlung und ebenso das Blut, wenn nach erfolgter Aufritzung der Haut der Schröpfkopf zum zweiten Male aufgesetzt wird.

5. Der Tabackraucher saugt die Luft aus dem Rohre seiner Peife, so daß dasselbe zwar nicht völlig luftleer wird, aber doch sehr verdünnte, daher geringe Spannkraft besitzende Luft enthält. Augenblicklich sucht die äußere Luft, welche dichter, daher elastischer ist, das Gleichgewicht wieder herzustellen, und indem sie ihren Weg durch die Zwischenräume des im Pfeifenkopfe enthaltenen Tabacks nimmt, führt sie zugleich den Dampf durch das Rohr hinauf in den Mund des Rauchenden.

Aehnliches geschieht, wenn man an dem oberen Ende eines ins Wasser gehaltenen Röhrchens, z. B. eines Strohhalms, saugt. Die Luft, welche auf das Wasser drückt, dringt in den mehr oder minder entleerten Raum, und treibt das Wasser in demselben empor.

Digitized by Google

§ 63. Wichtige Werkzeuge, welche sich auf die Eigenschaften der Luft gründen.

Wenn wir das Vorhergehende vollkommen aufgefaßt, wenn wir insbesondere uns fest eingeprägt haben, daß die Luft das Bestreben hat, sich in einen immer größeren Raum auszudehnen, daß sie aber auch in hohem Grade zusammendrückbar ist, wobei ihre Spannkraft zunimmt, und daß sie einen bedeutenden Druck ausübt, der sich nach allen Richtungen fortpflanzt: dann werden wir die Einrichtung mannigfaltiger, zum Theil äußerst wichtiger Werkzeuge leicht verstehen, von denen nunmehr die Rede sein soll. Es sind dies: der Blasebalg, die Taucherglocke, der Stechheber, der Saugheber, die Wasserpumpe, das Barometer, die Compressionspumpe und die Windbüchse, die Feuerspritze, die Schiebelampe, die Luftpumpe, die atmosphärische Eisenbahn nebst dem atmosphärischen Telegraphen und der Luftballon.

§ 64. Der Blasebalg.

Der Blasebalg, den man in kleiner Form in den Küchen, in größerer in Schmiedewerkstätten, Schmelzhütten u. dgl. zum Anfachen des Feuers, in den Orgeln zur Herstellung des zur Erzeugung der Töne erforderlichen Luftstroms anwendet, besteht aus zwei Holzplatten, welche an dem vorderen Ende durch Leder verbunden sind, an dem hinteren aber sich von einander entfernen lassen. Durch Seitenbrettchen, welche ebenfalls durch Belederung zusammengehalten werden, bilden sich bei dem Aufziehen des Balges eine oder mehrere Falten, so daß ein ringsum verschlossener Raum entsteht. Dieser hat zwei Oeffnungen. Die eine derselben befindet sich in der Unterplatte, und sie ist durch eine einfache oder doppelte Klappe, die sich nur *nach innen* öffnet und das *Schöpfventil* heißt, verdeckt. Die zweite Oeffnung ist bei den meisten Blasebälgen an dem vorderen Ende, und es ist eine Röhre in dieselbe eingesetzt. Zieht man den Blasebalg auf, so entsteht ein fast luftleerer Raum innerhalb desselben, in welchen die äußere Luft durch die Röhre und das Schöpfventil sofort einströmt. Wird nun der Blasebalg zusammengedrückt,

Digitized by Google

so strömt die in ihm enthaltene Luft, die das Schöpfventil verschließt und sich dort selbst den Ausgang versperrt, zu der Röhre hinaus. Bei den Blasebälgen der Orgel ist statt der offnen Röhre ein zweites Ventil in der Unterplatte, welches sich aber nach außen öffnet. Sinkt nun die mit Gewichten beschwerte Oberplatte nieder, so strömt die Luft durch dieses Ventil aus; sie gelangt jedoch nicht ins Freie, sondern in eine hölzerne Röhre, den Kanal, der sie dem Pfeifenwerke zuführt.*

§ 65. Die Taucherglocke.

§ 61. war davon die Rede, daß ein verkehrt ins Wasser getauchtes leeres Glas sich nie vollständig mit Wasser füllt, indem die eingeschlossene Luft sich nur bis zu einem gewissen Grade zusammendrücken läßt, dann aber das weitere Emporsteigen des Wassers verhindert. Je größer das bei einem solchen Versuche angewendete Glas ist, desto größer ist natürlich auch die abgesperrte Luftmenge, desto größer mithin auch der von Wasser frei bleibende Raum. Auf diese Erfahrung gründet sich die Taucherglocke, mittelst deren sich Menschen in die Tiefe des Wassers hinablassen, um auf dem Grunde desselben Untersuchungen anzustellen oder dort befindliche Gegenstände aufzusuchen und heraufzubringen. Statt der früher gebräuchlichen Glockenform wendet man jetzt in der Regel die eines viereckigen unten offenen Kastens von Gußeisen an. Durch starke Glasfenster fällt das erforderliche Licht ein, und durch einen von der Decke aus nach der Oberfläche des Wassers führenden Schlauch wird von oben Luft in die Glocke geschafft. Der Schlauch hat nämlich an seinem unteren Ende eine Klappe (ein Ventil), welche sich nur nach dem Inneren der Glocke öffnet, also wohl Luft in dieselbe hinein-, aber nicht hinausläßt. Das Hinabtreiben der Luft geschieht durch eine Verdichtungs- oder Compressionspumpe (s. unten § 70); durch die zuströmende Luft wird endlich alles Wasser aus der

* Eine genauere Beschreibung der Orgelbälge enthält des Verfassers Vorschule der musikalischen Composition. Langensalza, Schulbuchhandlung, 4. Aufl.

Digitized by Google

Glocke verdrängt, so daß die in derselben befindlichen Arbeiter ungehindert ihren Verrichtungen nachkommen können. — Mittelst solcher Taucherglocken ist es schon öfters gelungen, werthvolle Gegenstände, welche bei einem Schiffbruche versunken waren, wieder ans Tageslicht zu bringen.

§ 66. Der Stechheber.

Taucht man eine oben und unten offene enge Röhre in Wasser, so stellt sich dasselbe darin so hoch, als es in dem Gefäße selbst steht (§ 52). Verschließt man nun die obere Oeffnung mit dem Daumen und hebt die Röhre aus dem Wasser, so fließen zwar zuerst einige Tropfen aus, dann aber bleibt die Flüssigkeit trotz der nach unten gekehrten Oeffnung in der Röhre hangen, so daß man mit derselben umher gehen kann. Zieht man den Daumen von der oberen Oeffnung hinweg, so läuft die Flüssigkeit aus; das Ausfließen wird aber sogleich wieder unterbrochen, wenn man den Daumen aufs Neue aufsetzt.

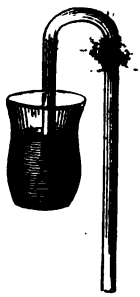
Offenbar ist es der Druck der äußeren Luft, welcher das Ausfließen verhindert. Im ersten Augenblicke befindet sich oberhalb des Wassers in der Röhre Luft, welche der äußeren Luft an Spannkraft gleich ist, daher folgt das Wasser dem Gesetze der Schwere, und fängt an auszulaufen. Dadurch wird jedoch der Raum vergrößert, den die abgesperrte Luft ausfüllt; sie dehnt sich aus, verliert an Dichtigkeit und somit an Spannkraft; die stärkere äußere Luft gewinnt das Uebergewicht und trägt die Wassersäule. Gestattet man aber der Luft oberhalb derselben den Zutritt, so ist der Luftdruck oben und unten gleich, und das Wasser läuft aus.

Wenn man die so eben besprochene Vorrichtung, die man den Stechheber nennt, im praktischen Leben anwendet, z. B. um Wein aus einem Fasse in ein Glas zu bringen, so macht man die (Metall- oder Glas-) Röhre in der Mitte bauchig, und giebt ihr oben nur eine kleine, mit dem Daumen leicht verschließbare Oeffnung.

Digitized by Google

Taschenspieler gebrauchen zuweilen bei ihren Kunststücken den sogenannten Zaubertrichter. Dies ist ein Trichter mit doppelten Wänden, die am oberen Rande fest verbunden sind, und zwischen denen sich ein leerer Raum befindet. Oben hat die Außenwand ein wenig bemerkliches Loch, welches man wie bei dem Stechheber leicht mit dem Daumen verschließen kann. Taucht man nun den Trichter in irgend eine Flüssigkeit, und hebt ihn wieder heraus, indem man das Loch zuhält, so scheint er leer, aber zwischen seinen Wänden befindet sich jene Flüssigkeit, die man durch Oeffnen des Loches ganz oder theilweise ausfließen lassen kann.

§ 67. Der Saugheber.

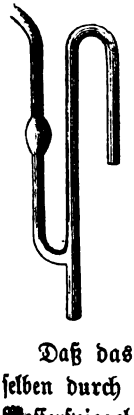


Man verschaffe sich eine gebogene Glas-* oder Metallröhre mit einem kürzeren und einem längeren Schenkel, tauche ersteren in ein volles Wasserglas, so daß er fast den Boden berührt, und sauge aus dem längeren die Luft aus. So wie dies geschieht, wird durch den Druck der äußeren Luft das Wasser in der kurzen Röhre des Instrumentes, welches der Saugheber heißt, emporgetrieben, und fließt zu dem längeren Schenkel aus, so lange die Oeffnung des kurzen Schenkels noch ins Wasser taucht und die Oeffnung des

* Die dünnen Glasröhren, welche in Glaswaaren-Handlungen käuflich sind, pflegen gerade zu sein, man kann sie jedoch leicht biegen, indem man die Stelle, wo die Biegung gemacht werden soll, in die Flamme einer Weingeist- (Spiritus-) Lampe hält, und die Röhre zwischen den Fingern langsam dreht. Das Glas fängt an der erhitzten Stelle an zu glühen, wird weich und kann mittelst beider Hände umgebogen werden. S. des Verfassers Laien-Chemie, Langensalza, Schulbuchhandlung.

Digitized by Google

langen Schenkels tiefer liegt, als der Wasserspiegel in dem Gefäße. Der Heber zeigt demnach die auffallende Erscheinung einer aus einem Wasserbehälter über den Wasserspiegel sich erhebenden Strömung des Wassers nach oben. Mittelst eines solchen Saughebers kann man sehr schnell große Gefäße entleeren. Da das Saugen an dem abwärts hängenden langen Schenkel in der Regel unbequem ist, da man überdies dabei etwas von der Flüssigkeit in den Mund bekommt, was unangenehm und schädlich sein kann, so giebt man oft dem Heber ein besonderes Saugrohr, an dessen nach oben gerichteter Mündung man bequemer und ohne etwas in den Mund zu bekommen saugen kann. Während des Saugens an einem solchen Saugrohre muß man die untere Oeffnung des langen Schenkels so lange fest zuhalten, bis er voll ist.



Man kann auch den Heber ganz vollgießen, und, indem man seine beiden Oeffnungen verschließt, den kürzeren Schenkel unter die Oberfläche der Flüssigkeit bringen, worauf man zuerst diesen, dann den längeren öffnet.

Daß das Wasser in dem Heber, nachdem die Luft in demselben durch das Saugen sehr verdünnt ist, durch den auf dem Wasserspiegel des Gefäßes lastenden Luftdruck emporgetrieben werden muß, ist leicht einzusehen; schwerer zu begreifen ist das ununterbrochene Fortfließen. Hierbei erwäge man Folgendes.

In beiden Schenkeln wird, sobald sie gefüllt sind, das Wasser von der Luft gleichstark nach oben gedrückt; in dem längeren unmittelbar, in dem kürzeren mittelbar durch das Wasser in dem Gefäße. Diesem Luftdrucke wirkt das Gewicht des Wassers entgegen, und zwar in dem längeren Schenkel wegen der größeren Wassermasse bedeutender als in dem kürzeren. Daher hat der auf dem kürzeren Schenkel lastende Luftdruck das Uebergewicht und treibt das Wasser durch den längeren Schenkel fort. Eine Lücke zwischen den Wassermassen beider Schenkel kann sich nicht bilden, denn in demselben Augenblicke, da sie entstände, wäre ein

luftleerer Raum vorhanden, den der Druck der äußeren Luft sofort mit Wasser füllen würde.

Da sich nun die beiden Wassersäulen nicht trennen können, so müssen sie gewissermaßen einen zusammenhängenden Wasserfaden bilden, bei welchem der längere Theil im äußeren Schenkel das Uebergewicht hat, und, dem Gesetze der Schwere folgend, herabsinkt, wobei ihm die ganze Wassermasse folgen muß. Kommt dagegen die Ausflußöffnung des äußeren Schenkels in gleiche Höhe mit dem Wasserspiegel des Gefäßes, so tritt das Gleichgewicht ein, und der Heber hört auf zu fließen. Bei dieser Vergleichung der Höhe der beiden Wassersäulen kommt hinsichtlich des inneren Schenkels nur der über den Wasserspiegel emporragende Theil in Betracht, denn soweit dieser Schenkel im Wasser befindlich ist, füllt er sich ohne den Luftdruck nach dem Gesetze über communicirende Röhren. Daher ist es auch nicht nothwendig, daß der äußere Schenkel an und für sich länger sei, als der innere, letzterer kann vielmehr auch der längere sein; wenn nur die Ausflußmündung des äußeren tiefer liegt als der Wasserspiegel des Gefäßes, so fließt der Heber doch.

Enthält das Gefäß verschiedene Flüssigkeiten von ungleichem specifischem Gewicht, von denen sich natürlich die schwerere dem Boden am nächsten befindet, so kann man diese mittelst des Saughebers herausbringen, ohne die obere auszuschöpfen.

Den Vexir- oder Zauberbecher kann man als Trinkgefäß gebrauchen; gießt man ihn aber ganz voll, so läuft die in ihm enthaltene Flüssigkeit unten völlig aus. Er enthält nämlich einen in der Wand und im Henkel verborgenen Heber, dessen kurzer Schenkel bis an den Boden des Becherraumes hinabgeht, während der längere sich unten am Fuße des Bechers öffnet. Gießt man nun etwas Wasser in den Becher, so füllt sich zwar der kurze Schenkel eben so hoch mit, aber es kommt nichts in den langen Schenkel. Füllt

Digitized by Google

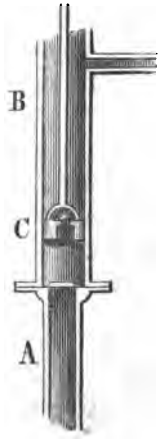
man aber den Becher ganz, so erreicht das Wasser den höchsten Punkt des Hebers und gelangt in den langen Schenkel, durch den es unten ausläuft.

Damit erklärt man die sogenannten Hungerbrunnen, so wie den Vorgang bei dem Cirknitzer See in Krain und ähnlichen Wunderseen. Diese haben nämlich bei trockner Zeit Wasser, bei lange dauerndem Regenwetter aber werden sie trocken. Man nimmt an, daß unterirdische Höhlen bei ihnen vorhanden seien, welche in gleicher Weise wirken, wie der Heber bei dem Vexirbecher.

Merkwürdig ist die Anwendung des Hebers im Großen bei dem Kanal von Languedoc oder dem Mittagskanal (canal du midi) in Frankreich. Er läuft an Bergen hin, die ihre Gewässer in ihn ergießen, wodurch leicht Ueberfluthungen eintreten könnten. Diese werden durch große gemauerte Heber verhütet, deren kurzer Schenkel bis an den Boden des Kanals reicht, während der längere am Abhange des Gebirges hinabgeht. Füllen sich die kurzen Schenkel der Heber, so fängt das Wasser an abzulaufen, und der Kanal würde bald ganz wasserleer sein. Um dies zu verhindern, hat der kurze Schenkel in bestimmter Höhe ein Loch. Ist der Wasserspiegel bis zu diesem gesunken, so drückt die Luft durch dasselbe nach unten, es steigt kein Wasser mehr empor, und das Abfließen hat ein Ende.

§ 68. Die Wasserpumpe.

Ihre Construction geht aus der nebenstehenden Zeichnung deutlich hervor. Das Saugrohr A reicht in einen Wasserbehälter hinab. An seinem oberen Ende ist es mit einem weiteren Rohre, dem Pumpenrohre oder Stiefel B luftdicht verbunden. An der Vereinigungsstelle beider Röhren wird das Saugrohr durch eine nur nach oben sich öffnende Klappe, das Bodenventil verschlossen. In dem



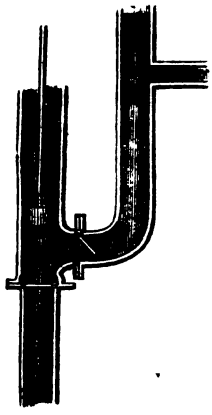
Digitized by Google

Stiefel befindet sich ein luftdicht schließender Kolben C, welcher mittelst eines an die Kolbenstange befestigten ungleicharmigen Hebels (Schwengels) auf und nieder bewegt werden kann. Dieser Kolben ist senkrecht durchbohrt, und das Bohrloch ist durch eine ebenfalls aufwärts sich öffnende Klappe, das Kolbenventil, geschlossen. In der erforderlichen Höhe ist in dem Stiefel das Ausgußrohr angebracht, aus welchem bei dem Pumpen das Wasser ausströmt.

Denken wir uns zunächst den Kolben in seiner niedrigsten Stellung, so daß er auf dem Saugrohre ruht. Beide Ventile sind geschlossen. Wird nun der Schwengel niedergedrückt, so steigt der Kolben in die Höhe, und es entsteht zwischen ihm und dem Bodenventile ein Raum mit sehr verdünnter Luft. Die dichtere Luft in dem Saugrohre stößt sofort das Bodenventil auf, und dringt in den Raum unter dem Kolben; dadurch verdünnt sich aber zugleich die Luft in dem Saugrohre, die äußere Luft drückt auf das Wasser des Wasserbehälters, und dieses steigt in dem Saugrohre empor. Nun wird der Kolben niedergedrückt. Die eingeschlossene Luft drückt das Bodenventil zu und versperrt sich den Weg nach unten; daher stößt sie das Kolbenventil auf, tritt über den Kolben und kann nicht mehr zurück, weil sie das Ventil festdrückt. Bei dem abermaligen Emporziehen des Kolbens wiederholen sich dieselben Vorgänge. Es tritt aufs Neue Luft aus dem Saugrohre über das Bodenventil, die beim Niedergange des Kolbens durch das Kolbenventil entweicht, und das Wasser im Saugrohre steigt höher. Bei fortgesetztem Pumpen tritt Wasser aus dem Saugrohre unter den Kolben, dringt beim Niedergange des Kolbens durch dessen Ventil über denselben, und wird bis zum Ausgußrohre emporgehoben, aus welchem es ausfließt.

Mittelst der so eben beschriebenen Saugpumpe kann man jedoch das Wasser nicht bis zu jeder beliebigen Höhe emporbringen, denn das Saugrohr darf höchstens 32 Fuß über den Wasserspiegel vorragen (s. § 69). Soll das Wasser höher gehoben werden, so wendet man die Saug- und Druckpumpe an. Diese hat nur ein kurzes Saugrohr, und im Kolben kein

Digitized by Google



Ventil. Dagegen führt aus dem unteren Theile des Stiefels ein Steigrohr empor, welches am Grunde ein nach oben sich öffnendes Seitenventil hat. Entsteht nun durch das Aufziehen des Kolbens zwischen ihm und dem Bodenventile ein luftverdünnter Raum, so schließt sich das Seitenventil vermöge des Druckes der Luft im Seitenrohre, und das Wasser dringt — wie bei der gewöhnlichen Saugpumpe — durch das Bodenventil hervor. Beim Niedergange des Kolbens aber wird das Wasser durch das Seitenventil in das Steigrohr gedrängt, aus welchem es nicht zurückfließen kann, weil es das Seitenventil zudrückt. Bei fortgesetztem Pumpen steigt es in dem Steigrohr immer höher, bis es zu dem in beliebiger Höhe liegenden Ausgußrohre gelangt.

§ 69. Das Barometer.

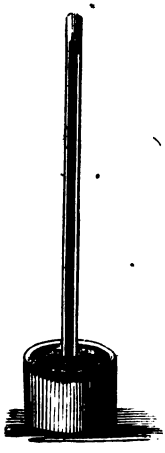
Wir wissen (§ 61), daß die Luft vermöge ihres allseitigen Druckes und ihrer Spannkraft jeden ihr zugänglichen leeren Raum augenblicklich ausfüllt, und daß sie, wenn ein beweglicher Körper, z. B. das Wasser, ihr den unmittelbaren Zutritt wehrt, diesen Körper in den leeren Raum drängt. Die Vorgänge bei der Saugpumpe (§ 68) haben uns dies auf das deutlichste gezeigt.

Schon vor alten Zeiten war diese Erscheinung den Naturforschern bekannt, nicht aber der wahre Grund derselben; sie meinten vielmehr: die Natur habe einen Abscheu vor dem leeren Raume, und diese Ansicht erhielt sich Jahrhunderte lang. Nun sollte im 17. Jahrhundert in einem fürstlichen Garten zu Florenz mittelst einer Saugpumpe Wasser zu einer ungewöhnlichen Höhe gehoben werden. Man arbeitete alle Theile der Pumpe höchst sorgfältig, aber siehe da! das Wasser in dem Saugrohre stieg nicht höher als 32 Fuß; hatte es diese

Digitized by Google

Höhe erreicht, so half kein ferneres Pumpen. Die betroffenen Arbeiter wendeten sich an den hochberühmten Naturforscher Galilei, und begehrten eine Erklärung über die wunderbare Erscheinung. Galilei wußte ihnen im Augenblicke keine andere Auskunft zu geben, als: der Abscheu der Natur vor dem leeren Raume habe seine Grenzen. Ihm selbst genügte allerdings diese Erklärung nicht, und er kam bald auf die Vermuthung, daß es der Druck der Luft sein müsse, welcher das Wasser in einem (fast) luftleeren Raume bis zu einer Höhe von 32 Fuß, aber höher nicht, emporzuheben und in dieser Höhe zu erhalten vermöge. Er starb jedoch, bevor er mit seinen Forschungen völlig ins Klare gekommen war.

Sein Schüler Toricelli setzte die begonnenen Untersuchungen fort, und kam auf den glücklichen Gedanken: wenn es wirklich der Druck der atmosphärischen Luft sei, welcher das Wasser in dem Saugrohre einer Pumpe 32 Fuß zu heben vermöge, so müßte dieser Druck eine specifisch leichte Flüssigkeit höher, eine specifisch schwerere minder hoch heben. Er wählte zu seinem Versuche das Quecksilber, welches $13^1/_2$ mal so schwer ist als Wasser, füllte eine an einem Ende verschlossene Glasröhre damit, und tauchte dieselbe mit ihrem offenen Ende, welches er mit dem Finger fest bedeckte, in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß. Nachdem er den Finger entfernt hatte, fand er zu seiner Freude, daß zwar einiges Quecksilber aus der Röhre in das Gefäß herabsank, so daß sich oberhalb des Quecksilbers ein luftleerer Raum bildete, dann aber die Quecksilbersäule in einer Höhe von ungefähr 28 Zoll über dem Quecksilberspiegel des Gefäßes stehen blieb. Eine solche Quecksilbersäule wiegt aber soviel, als eine $13^1/_2$ mal so hohe, also ziemlich 32 Fuß messende Wassersäule von gleicher Stärke. Somit war es entschieden, daß es der Druck der atmosphärischen Luft sei, welcher eine Wassersäule



Digitized by Google

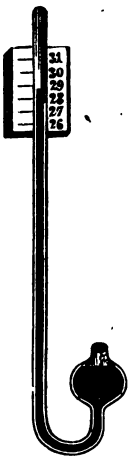
von 32 Fuß oder eine Queckſilberſäule von 28 Zoll Höhe tragen, oder was daſſelbe iſt, ihr das Gleichgewicht zu halten vermöge. Das wichtige Experiment führt den Namen: der Toricelliſche Verſuch, der luftleere Raum aber, der ſich in der Röhre oberhalb des Queckſilbers befindet, heißt: die Toricelliſche Leere.

Aus dem Toricelliſchen Verſuche geht hervor, daß jeder an der Oberfläche der Erde in einer ebenen Gegend befindliche Körper einen Luftdruck zu tragen hat, als laſte auf ihm eine Waſſerſäule von 32′ oder eine Queckſilberſäule von 28″ Höhe. Nimmt man die Oberfläche des Körpers eines erwachſenen Menſchen auf 15 Quadratfuß an, ſo ergiebt ſich, daß derſelbe, indem die auf einen Quadratfuß wirkende Luftſäule über 20 Centner wiegt, von einer Laſt von mehr als 300 Centnern gedrückt wird. Daß wir von dieſer ungeheuren Belaſtung nichts gewahren, rührt daher, daß das Innere unſeres Körpers gleichfalls mit Luft gefüllt iſt, welche der von Außen drückenden das Gleichgewicht hält. Könnte unſer Körper plötzlich luftleer gemacht werden, ſo würde er augenblicklich zerquetſcht ſein. Schon bei dem Aufſteigen mit dem Luftballon oder bei dem Beſteigen ſehr hoher Berge, wo die atmoſphäriſche Luft mit weit geringerer Kraft drückt, fühlt man den Unterſchied der Spannkraft der äußeren und inneren Luft ſehr deutlich, denn die dichtere Luft innerhalb des Körpers drängt ſich dann nach außen, und treibt zuletzt das Blut zu Mund, Naſe, Augen und Ohren heraus. Luftſchiffer, welche nach längerem Aufenthalte in bedeutender Höhe ſich ſehr raſch herabließen, empfanden einen heftigen Druck auf das Gehirn. — Uebrigens ſind einige Theile unſeres Körpers wirklich ſo eingerichtet, daß der Druck der äußeren Luft einen wichtigen Einfluß hat. Die Höhlung nämlich, in welche der ſogenannte Apfel des Oberarms und des Oberſchenkels eingefügt iſt, iſt luftleer; daher wird der Arm und das Bein, ohne daß wir einen Muskel anzuſtrengen brauchen, von dem äußeren Luftdrucke getragen. Wäre dies nicht der Fall, ſo würden dieſe Glieder bei ihrer beſtändigen Anſtrengung bald bis zur Kraftloſigkeit ermüden. Daher

Digitized by Google

empfinden die Besteiger hoher Berge bei dem dort weit geringeren Luftdrucke eine auffallende Müdigkeit, indem die Muskeln nicht allein die Glieder in Bewegung setzen, sondern auch einen Theil ihres Gewichtes tragen müssen.

Wir haben oben gesagt, daß der Druck der atmosphärischen Luft ungefähr einer 28 Zoll hohen Quecksilbersäule das Gleichgewicht halte. Dieser Druck ist nämlich nicht immer gleich stark; zuweilen trägt er nur eine Quecksilbersäule von 27 oder noch weniger, zuweilen wieder eine von mehr als 28 Zoll. Zur bequemen Beobachtung dieses mit der Zu- und Abnahme des Luftdruckes zusammenhängenden Steigens und Fallens der Quecksilbersäule dient das Barometer oder der Luftschwermesser. Es ist dies nichts anderes als die Toricellische Röhre, verbunden mit einem in Zolle und Linien eingetheilten Maaßstabe (einer Scala), an welchem man die jedesmalige Höhe des Quecksilberstandes ablesen kann.

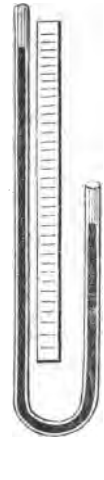


Statt, wie Toricelli, eine gerade Röhre in ein Quecksilbergefäß hinabzuführen (Gefäßbarometer), biegt man jetzt gewöhnlich die Glasröhre unten um, und giebt dem kurzen Schenkel eine birnförmige, oben offene Erweiterung (Kapselbarometer). Die Scala bringt man nur an dem oberen Theile des langen Schenkels an, so daß sie gewöhnlich nur den Raum von 26 bis 31 Zoll Höhe darstellt, da innerhalb desselben die Schwankungen des Quecksilberstandes stattfinden. Das Einfüllen des Quecksilbers ist nicht ohne Schwierigkeit. Vor Allem muß die Röhre durchaus von gleichmäßiger Weite und sie darf überhaupt nicht zu eng sein. Das Quecksilber wird gesotten, um alle Luft aus demselben zu vertreiben. Es muß immer nur wenig auf einmal eingegossen und die eingegossene Quantität muß stets wieder bis zum Sieden erhitzt werden. Nur auf diese Weise ist es möglich, alle etwa an den Innenwänden der Röhre haftende Luft und

Digitized by Google

Feuchtigkeit völlig auszutreiben, so daß, wenn man das verschlossene Ende der Röhre nach unten kehrt, das Quecksilber bis an die äußerste Spitze geht, ohne ein Luftbläschen unter sich zu haben. Ist dies der Fall, so wird, wenn man dem Instrumente seine richtige Lage wiedergiebt, oberhalb des Quecksilbers ein wirklich luftleerer Raum vorhanden sein, so daß dasselbe von oben herab keinen Luftdruck erleidet. Auch späterhin muß man das Barometer vor heftigen Erschütterungen sorgfältig bewahren, und wenn man es an einen anderen Ort transportiren will, so muß man es langsam in die wagrechte Lage bringen, damit das Quecksilber die Toricellische Leere ganz ausfüllt, und keine Luft eindringt. Legte man es plötzlich um, so könnte es leicht geschehen, daß das schwere Quecksilber die Spitze der Röhre durchstieße.

Die Scala berechnet man — mit Berücksichtigung des Gesetzes über communicirende Röhren — von dem Punkte des langen Schenkels an, welcher dem Quecksilberspiegel in der erweiterten Kapsel genau gegenüber liegt. Ein solches Kapselbarometer ist für Beobachtungen, bei denen es auf die höchste Genauigkeit nicht ankommt, ganz ausreichend. Wir dürfen aber nicht außer Acht lassen, daß das Quecksilber in dem Gefäße (der Kapsel) nicht immer genau gleich hoch steht. Bei stärkerem Luftdrucke wird der Quecksilberspiegel tiefer liegen, bei vermindertem Drucke hebt er sich ein Wenig. Auf dieses Steigen und Fallen wird aber, da die Scala ein für allemal feststeht, nicht Rücksicht genommen. Für genauere Beobachtungen wendet man daher das Heberbarometer an, welches keine erweiterte Kapsel hat, sondern aus einer durchweg gleichweiten heberförmig umgebogenen Glasröhre besteht, deren längerer Schenkel oben geschlossen ist, während der kürzere offen bleibt. Die Scala, welche in ihrer ganzen Länge vorhanden ist, ist gewöhnlich verschiebbar, und wird bei der Beobachtung des Barometerstandes stets so geschoben, daß



Digitized by Google

ihr Anfangspunkt genau in gleicher Höhe mit dem höchsten Punkte des Queckſilberſpiegels in dem kurzen Schenkel ſteht. Zuweilen iſt jedoch auch bei dem Heberbarometer die Scala feſt. Dann hat ſie einen Nullpunkt an beliebiger Stelle, die aber ſo gewählt ſein muß, daß das Queckſilber in dem kurzen Schenkel nie bis zu ihm emporſteigt, in dem langen Schenkel aber nie bis zu ihm herabſinkt. Von dieſem Nullpunkte aus ſind Zolle nach oben und nach unten angegeben, und man muß zu der Zahl, welche dem Standpunkte des Queckſilbers in dem langen Schenkel gegenüberliegt, die Entfernung des Queckſilberſpiegels des kurzen Schenkels vom Nullpunkte addiren, um den Barometerſtand zu finden.

Am häufigſten gebraucht man das Barometer als Wetterpropheten, und nennt es das Wetterglas. Man nimmt an, daß das Steigen des Queckſilbers, oder wie man ſich gewöhnlich ausdrückt, des Barometers, trocknes, das Fallen aber naſſes Wetter verkünde. Die meiſten Barometer haben daher neben der Scala eine Witterungstafel, auf welcher neben 27 Zoll „viel Regen“, neben 28 Zoll „ſchönes Wetter“ angegeben iſt. Ein Barometerſtand unter 27 Zoll ſoll Sturm, ein Stand über 28 Zoll trocknes, beſtändiges Wetter anzeigen. Häufig, jedoch keineswegs immer, treffen dieſe Angaben zu. Die Veränderungen des Barometerſtandes hängen nämlich mit dem Gehalt der Luft an Waſſerdunſt zuſammen. Iſt das in der Atmoſphäre enthaltene Waſſer in Gas- oder Luftform übergegangen, ſo verſtärkt dieſes Gas den Luftdruck, das Barometer ſteigt, und es erfolgt meiſt trocknes Wetter. Verdichtet ſich aber der Waſſerdunſt zu Waſſerbläschen, aus denen Wolken entſtehen, ſo verliert er ſeine Elaſticität, der Luftdruck wird geringer, das Barometer fällt, und es kommt in der Regel Regenwetter. Die zu uns über weite Landſtrecken herkommenden Nordoſtwinde bringen trockne Luft, und bewirken das Steigen des Barometers, die vom Meere kommenden Südweſtwinde bringen feuchte Luft, und verurſachen das Sinken der Queckſilberſäule.

Weit wichtiger iſt die Anwendung des Barometers zu Höhenmeſſungen. Je höher man in der Atmoſphäre aufſteigt, eine

Digitized by Google

desto niedrigere Luftschicht drückt auf das Quecksilber, welches also sinken muß, wenn man das Barometer auf Berge trägt. Ist der Barometerstand an der Meeresfläche 28 Zoll, so ist er z. B.

auf dem Brocken (3650′) 24 Zoll,
— — St. Gotthard (7600′) 21 Zoll,
— — Aetna (10300′) 19 Zoll,
— — Montblanc (14650′) 16 Zoll,
— — Chimborasso (20100′) $12^5/_6$ Zoll.

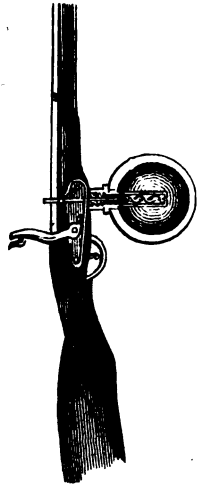
Die Höhenmessungen mittelst des Barometers unterliegen jedoch mancherlei Schwierigkeiten, schon darum, weil ja auch in der tiefen Ebene der Barometerstand sehr ungleich und schwankend ist, sodann weil die Luftwärme einen bedeutenden Einfluß auf das Quecksilber ausübt. Ferner ist zu berücksichtigen, daß, wenn es auch feststeht, das Quecksilber falle eine Linie, wenn man von der Meeresfläche 73 Fuß aufsteigt, die Luftschichten, je höher man kommt, desto dünner werden, so daß weiter hinauf eine immer größere Höhe erstiegen werden muß, ehe das Sinken wieder eine Linie betragen kann.

§ 70. Die Compressionspumpe und die Windbüchse.

Mittelst der Compressions- oder Verdichtungspumpe treibt man Luft in ein Gefäß, und verdichtet diese allmählig bedeutend, indem man ihr Entweichen verhindert. Dieses Instrument besteht aus einem Stiefel, in welchem ein luftdicht schließender Kolben auf und nieder bewegt werden kann. Der Stiefel hat oben an der Seite eine Oeffnung, unten aber ist eine engere Röhre an ihm befestiget, welche ein abwärts sich öffnendes Ventil hat. Man schraubt diese engere Röhre an den hohlen Körper, in welchem man die Luft verdichten will, zieht den Kolben zurück bis oberhalb der Seitenöffnung, und treibt ihn dann abwärts. Auf diese Weise wird ein Luftstrom in das Gefäß gedrängt, welcher das Ventil andrückt

Digitized by Google

und daher nicht entweichen kann. Durch jeden neuen Kolbenstoß wird die Menge, mithin auch die Dichtigkeit und Spannkraft der eingeschlossenen Luft vermehrt.



Eine solche Verdichtungspumpe wird unter Anderem bei der Windbüchse angewendet. Dies ist ein Schießgewehr, welches einer gewöhnlichen Flinte ähnlich ist. In dem hohlen Kolben derselben befindet sich die starke eiserne oder kupferne Windkammer, an welche man die Verdichtungspumpe anschraubt, und die man mittelst derselben mit verdichteter (comprimirter) Luft füllt. Nach Entfernung der Pumpe ladet man den Lauf mit Kugeln oder Schrot. Drückt man den Hahn ab, so öffnet sich ein Ventil, die zusammengepreßte Luft dringt in den Gewehrlauf und treibt, indem sie sich plötzlich ausdehnt, die Kugel fort. So kann man nach einander mehrere, aber immer schwächere Schüsse thun. Eine geladene Windbüchse darf nicht an den heißen Ofen gestellt werden, da sonst die durch die Wärme ausgedehnte Luft die Windkammer sprengen würde.

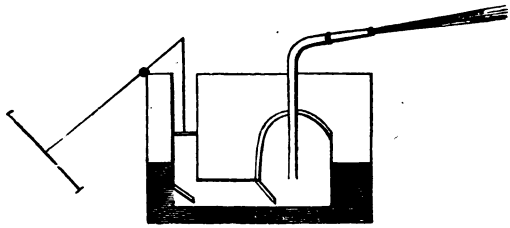
§ 71. Die Feuerspritze.

Die kleine Handspritze (§ 61) besteht aus einem einfachen Stiefel, in dem sich ein Kolben luftdicht hin und her bewegen läßt. Man hält das in eine Spitze ausgezogene vordere offne Ende des Stiefels ins Wasser, während der Kolben niedergedrückt ist. Zieht man nun diesen zurück, so treibt, ganz wie bei dem Saugrohre der Pumpe, der Luftdruck Wasser in den luftverdünnten Raum des Stiefels. Hebt man nun die Spitze empor, und stößt den Kolben einwärts, so wird die zwischen ihm und dem Wasser befindliche Luft stark zusammengepreßt, und

Digitized by Google

indem sie sich kräftig ausdehnt, treibt sie einen Wasserstrahl zur Spitze hinaus.

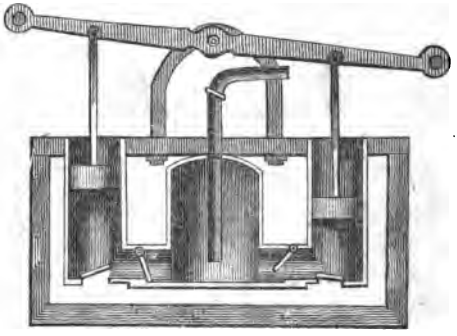
Um die Einrichtung der großen Feuerspritze zu verstehen, vergegenwärtigen wir uns das § 61. über das Spritzglas oder den Heronsball Gesagte. Wir sahen, daß aus



einem zum größten Theil mit Wasser gefüllten Glase, in welches eine Röhre fast bis auf den Grund hinabgeht, die oben in eine offene Spitze ausläuft, ein Wasserstrahl ausspritzt, wenn man die Luft in dem Gefäße verdichtet. Statt des Glases sehen wir bei der Feuerspritze ein großes Gefäß von Metall, in welches ebenfalls eine Röhre bis nahe an den Grund hinabgeht, an deren oberes Ende ein biegsamer Schlauch geschraubt wird, der in ein Mundstück ausläuft. Dieser Heronsball der Feuerspritze wird der Windkessel genannt. Seitwärts neben demselben steht eine Pumpe, deren Kolben nicht durchbohrt, sondern wie bei der Druckpumpe (§ 68) massiv ist. Vom Grunde des Stiefels führt ein Seitenrohr in den Windkessel, und hat dort ein in diesen aufschlagendes Ventil. Auch der Pumpenstiefel hat unten eine ebenfalls nach innen sich öffnende Klappe, das Seitenventil. Die ganze Vorrichtung steht in dem von Rädern getragenen Wasserkasten, welcher mit Wasser gefüllt wird. Die Kolbenstange wird mittelst eines langen gewöhnlich leiterförmigen zweiarmigen Hebels auf und nieder bewegt. Bei dem Aufsteigen des Kolbens drückt die Luft durch das Seitenventil Wasser in die Röhre, welches bei dem Niedergange des Kolbens durch das Kesselventil in den Windkessel getrieben wird, aus dem

Digitized by Google

es nicht zurück kann. Bei fortgesetztem Pumpen füllt sich der Windkessel mehr und mehr mit Wasser, und die über demselben befindliche Luft wird immer stärker zusammengepreßt. Dadurch wird ihre Spannkraft so verstärkt, daß sie endlich einen Ausweg sucht, und einen Wasserstrahl zum Rohre hinaustreibt, der sich bei jedem neuen Kolbenstoße wiederholt. — Solchen stoßweise wirkenden Spritzen sind diejenigen vorzuziehen, welche einen ununterbrochenen Wasserstrahl geben. Sie haben auf beiden Seiten



eine Druckpumpe, und während der eine Kolben aufwärts geht, bewegt sich der andere abwärts, so daß der Luftdruck fortwährend gleichmäßig bleibt, und das Wasser ohne Unterbrechung aus dem Schlauche treibt.

§ 72. Die Schiebelampe.

Bei der gewöhnlichen Studirlampe befindet sich, wenn der Oelbehälter gefüllt ist, die Oberfläche des Oels in gleicher Höhe mit dem Grunde der Flamme. Der Dochtbehälter ist durch eine Röhre mit dem Oelgefäße verbunden, und nach dem Gesetze über communicirende Röhren steht das Oel in beiden Gefäßen gleich hoch. Wird aber nun bei dem Brennen der Lampe ein Theil des Oeles verzehrt, so sinkt der Spiegel desselben in beiden Behältern, das Docht erhält geringeren Zufluß von Oel, und die Flamme wird allmählig schwächer.

Digitized by Google

Dieser Uebelstand ist bei den bekannten **Schiebelampen** vermieden, indem bei ihnen die Höhe des Oelspiegels immer gleich bleibt. Dies wird auf folgende Weise bewerkstelliget. In den höher als bei der Studirlampe liegenden Oelbehälter wird ein etwas engeres und kürzeres Gefäß gesenkt, dessen Oeffnung nach unten gekehrt ist, und in gleicher Höhe mit dem Grunde der Flamme liegt. Damit beim Herausnehmen und beim Einsetzen dieses Gefäßes das Oel nicht auslaufe, ist seine Oeffnung durch einen innerhalb befindlichen Deckel lose geschlossen, derselbe wird aber, wenn man die Oelbüchse eingehängt, durch einen auf den Boden des äußeren Gefäßes aufstoßenden Drathstift geöffnet. Der äußere Behälter hat an der Seite ein Loch, damit die Luft frei zutreten kann. Ist nun das äußere Gefäß leer, und man hängt die Oelbüchse ein, so läuft so lange Oel aus derselben, bis ihre Mündung unter dem Oelspiegel zu stehen kommt. Sobald dies der Fall ist, hört das Oel auf zu fließen, denn es wird von dem Luftdrucke getragen, wie dies bei jeder ganz oder theilweise gefüllten Flasche geschieht, die man verkehrt mit ihrer Mündung unter den Spiegel einer Flüssigkeit taucht (§ 62, 3). Sinkt aber beim Brennen der Lampe der Oelspiegel um ein Geringes, so daß die Mündung der Oelbüchse frei wird, so drängt sich Luft an den Wänden derselben empor, und drückt so viel Oel herab, daß die Mündung wieder abgesperrt ist. So geht dies fort, so lange noch Oel in der Büchse ist; der Spiegel des die Verbrennung unterhaltenden

Digitized by Google

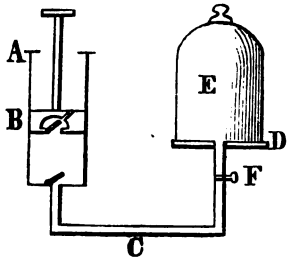
Oeles in dem äußeren Gefäßes bleibt immer in faſt unveränderter Höhe und das Docht erhält mittelſt einer Verbindungsröhre fortwährend gleichmäßigen Zufluß an Oel.

Anm. Drückt denn nicht aber das Oel in dem hohen Gefäße auf den Oelſpiegel, ſo daß nach dem Geſetze über communicirende Röhren (§ 52) das Oel aus dem Dochtbehälter gleich einem Springbrunnen emporſteigt? — Antwort: Das Oel in der oben verſchloſſenen Oelbüchſe drückt nicht auf den Oelſpiegel, denn ſein Druck wird durch den gleich ſtarken Luftdruck von unten aufgehoben. Nicht die Oelbüchſe, ſondern das äußere Gefäß communicirt mit dem Dochtbehälter.

§ 73. Die Luftpumpe.

Am anſchaulichſten können die Wirkungen des Luftdruckes mittelſt der von Otto von Guerike (Bürgermeiſter von Magdeburg, 1650) erfundenen Luftpumpe dargeſtellt werden. Man unterſcheidet Ventil- und Hahn-Luftpumpen.

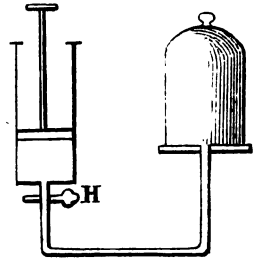
Die Einrichtung einer Ventil-Luftpumpe iſt im Weſentlichen mit der einer Saugpumpe (§ 68) übereinſtimmend. Wie bei dieſer läßt ſich in einem Stiefel A ein Kolben B luftdicht auf- und niederbewegen. Am Grunde des Stiefels iſt ein Bodenventil angebracht, im Kolben ein Kolbenventil, beide nach oben ſich öffnend, ganz wie bei der Saugpumpe. Vom Grunde des Stiefels geht ein zweimal rechtwinkelig gebogenes Rohr C zu einem Teller von Meſſing D, in deſſen Mitte es ſich öffnet. Auf dieſen Teller ſetzt man das Gefäß, aus welchem man die Luft auspumpen will, gewöhnlich eine hohe Glasglocke E (den Recipienten), und beſtreicht die Verbindungsſtelle der Glocke und des Tellers mit Fett, um einen luftdichten Verſchluß zu bewirken. Wird nun der Kolben in die Höhe gezogen, ſo entſteht zwiſchen ihm und dem Bodenventile ein luftleerer (luftverdünnter) Raum, in welchen die ſtärkere Luft aus der Glocke und der Röhre ſofort, indem ſie das Bodenventil aufſtößt, eindringt. Wird der



Digitized by Google

Kolben hierauf niedergestoßen, so schließt sich vermöge des Luftdruckes das Bodenventil; die eingeschlossene Luft aber entweicht durch das Kolbenventil. Dieser Vorgang wiederholt sich natürlich bei jedem Auf- und Niedergange des Kolbens, und jedesmal wird eine Quantität Luft aus dem Recipienten geschafft. Völlig luftleer wird derselbe allerdings nicht, denn die im hohen Grade verdünnte Luft hat zuletzt nicht mehr Kraft genug das Bodenventil aufzustoßen. — Mittelst eines in der Röhre angebrachten Hahnes F kann wieder Luft in das Instrument eingelassen werden, wenn man mit dem Experimentiren aufhören will. — Hat die Luftpumpe zwei Stiefel, in deren einem der Kolben niedergeht, während er im andern aufsteigt, so geht die Arbeit doppelt so schnell von statten.

Eine Hahn-Luftpumpe hat dieselben Theile, wie die Ventil-Luftpumpe, aber weder ein Boden- noch ein Kolbenventil, sondern statt deren befindet sich in der vom Stiefel zum Recipienten gehenden Röhre ein Hahn H. Dieser, nach seinem Erfinder der Senguerd'sche Hahn genannt, ist in zwei verschiedenen Richtungen durchbohrt, nämlich einmal querdurch, so daß, wenn die obere Mündung des Durchbohrungs-Kanals aufwärts, nach dem Kolben zu, gerichtet wird, die untere abwärts steht. Bei dieser Stellung des Hahnes ist der Stiefel mit dem Recipienten verbunden, und wenn man den Kolben aufwärts zieht, so gelangt die Luft aus dem Recipienten in den leeren Raum unter dem Kolben. Würde man den Hahn in dieser Stellung lassen, und den Kolben niederstoßen, so triebe man die Luft wieder in den Recipienten zurück, und es entstände in demselben keine Luftverdünnung. Drehte man dagegen den Hahn so, daß er die vom Stiefel zum Recipienten führende Röhre verschlösse, so fände die zwischen dem Kolben und dem Hahne befindliche Luft keinen Ausweg. Damit ein solcher vorhanden sei,



hat der Hahn eine zweite Durchbohrung, welche an seiner Seite anfängt und in einer gekrümmten Linie zu seiner Spitze herausführt. Sobald nun der Kolben seine höchste Stelle erreicht hat, giebt man dem Hahne durch eine Viertelsumdrehung eine solche Stellung, daß die Seitenöffnung des zuletzt beschriebenen Kanals nach oben, nach dem Kolben zu, gerichtet ist. Drückt man nunmehr den Kolben nieder, so entweicht die zusammengepreßte Luft durch den Hahn, und tritt bei seiner Spitze in die freie Luft hinaus. Dadurch ist denn eine Quantität Luft aus dem Recipienten und der Verbindungsröhre weggeschafft, und die Verdünnung hat begonnen. Jetzt wird der Hahn wieder in seine erste Stellung zurückgedreht, der Kolben wird in die Höhe gezogen, die Luft dringt durch den Hahn unter den Kolben, und entweicht, nachdem der Hahn wieder in seine zweite Lage gebracht ist, bei dem Niedergange des Kolbens ins Freie. So wird die Arbeit fortgesetzt, bis eine weitere Luftveränderung nicht mehr möglich ist. — Will man nach geendeten Versuchen wieder Luft unter den Recipienten lassen, so giebt man dem Hahne seine dritte Stellung, indem man ihn so dreht, daß die Seitenöffnung seines zweiten Kanals nach unten steht. Augenblicklich strömt die äußere Luft durch das Loch an der Spitze des Hahnes ein, und erfüllt den fast luftleeren Raum in der Röhre und im Recipienten. — Auch die Hahnluftpumpe kann mit zwei Stiefeln versehen sein.

Um den Grad der erzielten Luftverdünnung zu erkennen, stellt man ein kurzes, etwa 6 Zoll hohes Barometer unter den Recipienten. Das Queckſilber in demſelben fängt an zu ſinken, ſobald der Luftdruck, der ſonſt eine Queckſilberſäule von 28″ Höhe trägt, nicht mehr eine ſolche von 6″ Höhe erhalten kann.

Die wichtigſten Verſuche, welche man mittelſt der Luftpumpe anſtellen kann, ſind folgende.

1) Der Recipient wird immer feſter auf den Teller aufgedrückt, je mehr die Luft unter ihm verdünnt wird; läßt man wieder Luft unter denſelben, ſo kann man ihn ohne Schwierigkeit hinwegnehmen.

Digitized by Google

Otto von Guerike, welcher im Jahre 1654 auf dem Reichstage zu Regensburg vor dem Kaiser Ferdinand III. und den versammelten Großen des Reiches mit der von ihm erfundenen Luftpumpe experimentirte, brachte zwei metallne, mit Handhaben versehene Halbkugeln von etwa 2 Fuß Durchmesser an einander, und verstrich die Fuge mit Fett. Nachdem die Luft aus dieser Kugel ausgepumpt war, vermochten 24 Pferde, 12 auf jede Seite gespannt, die Halbkugeln nicht zu trennen, die doch, sobald man Luft zuließ, von selbst aus einander fielen. —

2) Setzt man statt der Glasglocke einen oben und unten offenen Cylinder von Glas oder Metall (z. B. einen Lampencylinder oder eine Flasche ohne Boden) auf den Teller der Luftpumpe, und bindet eine Blase fest darüber, so wird dieselbe bei jedem Kolbenzuge tiefer einwärts gedrückt und zerspringt endlich. Dasselbe geschieht, wenn man den Cylinder statt mit Blase mit einer Glastafel zudeckt, die man mit Wachs anklebt; doch ist bei diesem Versuche wegen der Zersplitterung des Glases Vorsicht erforderlich. — Legt man die Hand auf den Cylinder, so wird sie fest angedrückt.

3) Bringt man wieder statt des Recipienten auf den Teller einen Glascylinder, auf den man ein hölzernes Gefäß mit Wasser oder Quecksilber setzt, so drückt die äußere Luft diese Stoffe durch die Poren des Holzes in den Cylinder hinab, wodurch ein feiner Wasser- oder Quecksilberregen entsteht.

4) Eine schlaffe, fest zugebundene Blase schwillt unter dem Recipienten auf, und fällt beim Zutritte der Luft wieder zusammen. Runzelige Aepfel werden voll und glatt.

5) Ein luftdicht verschlossenes Glas wird durch die Ausdehnung der in ihm befindlichen Luft, welcher kein Gegendruck von außen entgegenwirkt, zersprengt.

6) Aus Flüssigkeiten steigen unter dem Recipienten Luftblasen auf; Bier wird daher schal. — In großen Färbereien legt man Tuche in die Farbenbrühe, und pumpt nun die Luft aus dem Gefäße. Alle Luft entweicht hierbei aus dem Tuche.

Digitized by Google

Läßt man nun wieder Luft zutreten, so drängt sie den Farbstoff in die feinsten Poren des Tuches.

7) Der Heronsball oder das Spritzglas springt unter dem Recipienten.

8) Ein Dukaten und eine Flaumfeder fallen im luftleeren Raume gleich schnell, weil der Widerstand der Luft aufgehoben ist.

9) Eine Glaskugel, aus welcher man die Luft ausgepumpt hat, wiegt weniger, als eine mit Luft gefüllte.

10) Ein an seiner schwersten Stelle geöffnetes Ei giebt seinen Inhalt in ein untergestelltes Gefäß ab, füllt sich aber sogleich wieder, wenn Luft zutritt.

11) Lauwarmes Wasser (von 30° R.) siedet unter dem Recipienten, ohne daß sich seine Temperatur erhöht, denn der Siedepunkt hängt von dem Luftdrucke ab. (§ 136.)

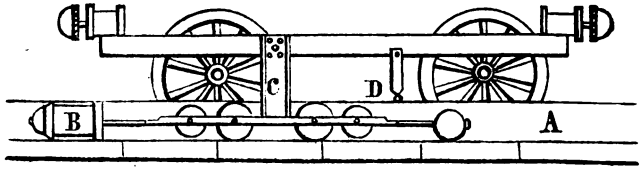
12) Eine unter dem Recipienten geläutete kleine Glocke giebt keinen Ton von sich, weil es die Luft ist, welche den Schall fortpflanzt.

13) Ein Licht verlöscht, ein Feuerzeug giebt keinen Funken, denn zur Verbrennung ist der Sauerstoff der Luft erforderlich.

14) Ohne Luft kann kein Thier leben, daher stirbt ein kleines unter den Recipienten gebrachtes Thier alsbald.

§ 74. Die atmosphärische Eisenbahn und der atmosphärische Telegraph.

Mittelst des Luftdruckes können Lastwagen auf einer Eisenbahn fortbewegt werden, und man hat in der That dergleichen atmosphärische Eisenbahnen auf kurze Strecken construirt. Zwischen den Schienen liegt eine gußeiserne Röhre A, welche innen



Digitized by Google

mit Talg bestrichen ist. In dieser Röhre befindet sich ein luftdicht schließender Kolben B. Wird nun vor demselben — mittelst einer feststehenden Dampfmaschine — die Luft aus der Röhre gepumpt, so treibt der auf der andern Seite wirksame Luftdruck den Kolben fort, und da derselbe durch den Arm C mit dem ersten Wagen verbunden ist, so nimmt er diesen sammt der an ihm hängenden Wagenreihe mit fort. Wegen des Armes C muß die Röhre A oben ihrer ganzen Länge nach einen Schlitz haben, der mit Lederklappen bedeckt ist. Dieser muß sich vor dem Arme C öffnen, hinter demselben aber sofort wieder schließen. Daher hat der Kolben B zwischen zwei Schienen vier Rollen, von denen die beiden äußeren kleiner sind, und die Klappe nur wenig heben. Ist nun der Arm C hindurch, so senken sich die Klappen erst auf die dritte, dann auf die vierte Rolle; eine am Wagen befestigte Rolle D aber drückt die Klappen wieder fest auf.

Durch den jetzt bei allen Eisenbahnen angebrachten electrischen Telegraphen, der erst weit später besprochen werden kann, werden bekanntlich Nachrichten mit Blitzesschnelle in weite Entfernungen befördert, nicht aber Gegenstände. Zur schnellen Fortschaffung der letzteren hat man einen atmosphärischen Telegraphen vorgeschlagen. Dieser würde aus einer von dem Orte der Absendung zu dem des Empfanges führenden eisernen Röhre bestehen. Befände sich in dieser ein luftdicht schließender Kolben, und man pumpte vor demselben die Luft aus der Röhre, so würde er sich mit großer Schnelligkeit fortbewegen, und Gegenstände, welche man an ihn befestigte, z. B. Briefbeutel, mit sich fortnehmen.

§ 75. Das Fliegen und der Luftballon.

Wir erinnern uns zunächst der Belehrung, welche uns § 56. über das Schwimmen gab, insbesondere des Archimedischen Gesetzes, demzufolge ein fester Körper in einer Flüssigkeit von seinem Gewichte so viel verliert, als die durch ihn verdrängte Menge derselben wiegt. Ganz dasselbe Gesetz gilt auch für die Luft, und das Fliegen kann als ein Schwimmen

Digitized by Google

in der Luft angesehen werden. Ist ein Körper specifisch leichter, als die Luft, das heißt bekanntlich: wiegt er weniger als die Luftmasse, welche er verdrängt, so muß er in der Luft emporsteigen; ist sein specifisches Gewicht dem der Luft gleich, so wird er in derselben weder steigen noch fallen, sondern schweben; ist er schwerer, als die Luft, so wird er in derselben sinken.

Je größer mithin der Umfang eines Körpers ohne Zunahme seines Gewichtes wird, desto leichter wird er fliegen können. Daher breiten die Vögel ihre Flügel aus und schlagen mit denselben, um möglichst viele Luft zu verdrängen; zugleich wird durch den Flügelschlag die unterhalb des Vogels befindliche Luftschicht zusammengedrückt, wodurch ihre Tragkraft wächst.

Bei dem Fliegen der Körper ist ferner zu berücksichtigen, daß die Dichtigkeit der atmosphärischen Luft abnimmt, je höher man in derselben aufsteigt; daher verliert ein Körper in der unteren, dichteren Luft mehr von seinem Gewichte, kann also leichter fliegen, als in der dünneren Luft höherer Regionen, und ein und derselbe Körper kann in derselben Atmosphäre steigen, schweben oder fallen, je nachdem die Höhe ist, in der er sich befindet.

Schon im grauen Alterthume erzählte man von Menschen, welche das Fliegen versucht hätten, aber erst in den letzten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts wurde der Luftballon erfunden, mittelst dessen Menschen zu bedeutenden Höhen aufstiegen. Da es jedoch bis heutigen Tages nicht gelungen ist, einen Luft-

Digitized by Google

ballon nach Willkühr zu lenken, so hat die Luftschifffahrt (Aëronautik) keine bemerkenswerthen Früchte für das practische Leben getragen. Große Luftbälle, mit denen Menschen Luftreisen zu machen vermögen, macht man aus Taffet, der mit Harz überzogen wird. Der Erfinder des Luftballons, Montgolfier, verdünnte die Luft in demselben durch Wärme, indem er ein Strohfeuer unter der am Boden befindlichen Oeffnung unterhielt. Solche Luftbälle heißen Montgolfièren. Professor Charles füllte den — nach ihm Charlière genannten — Ballon mit Wasserstoffgas, einer Luftart, die sich am leichtesten darstellen läßt, wenn man verdünnte Schwefelsäure auf Zink gießt.* Das Wasserstoffgas ist 14½mal so leicht als die atmosphärische Luft, ein mit demselben gefüllter Ballon besitzt daher eine bedeutende Steigkraft. Pilatre de Rozier und d'Arlandes waren die ersten Männer, welche in die Luft stiegen, indem sie unten an den Ballon eine kleine Gondel befestigten. Mittelst des Fallschirms, welcher der Luft eine bedeutende

Fläche darbietet, gelangten Luftschiffer (zuerst Garnerin) aus großer Höhe wohlbehalten zur Erde.

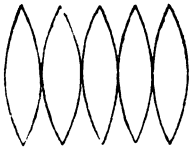
Folgende einer Zeitschrift entnommene Anweisung, einen kleinen Luftballon anzufertigen, dürfte manchem Leser willkommen sein.

Kaufe 10 Bogen Seidenpapier (à 6 Pf.), und verbinde mittelst einer Auflösung von gummi arabicum in kaltem Wasser je zwei derselben an den kurzen Seiten. Den dadurch erhaltenen

* S. des Verfassers Laien-Chemie, Langensalza, Schulbuchhandl.

Digitized by Google

fünf langen Blättern gieb die Form der Streifen, aus denen die Papierglobeu zuſammengeſetzt werden, indem du durch eine ſenkrechte und eine wagrechte Linie den Bogen in vier gleiche Felder theilſt, und in einem durch die Endpunkte der Linien gehenden



Bogen beide Seiten zuſchneideſt. Lege nun zwei Streifen ſo aufeinander, daß von dem unteren ein etwa einen halben Zoll breiter Rand vorragt, mache in dieſen verſchiedene Einſchnitte, beſtreiche ihn mit Gummilöſung und klappe ihn über, ſo daß er ohne Falten an den oberen Streifen feſtklebt. So verbinde den dritten Streifen mit dem zweiten, den vierten mit dem dritten, den fünften aber mit dem vierten und erſten. Im unteren Theile des Ballons ſchneide ein rundes Loch von 7—8 Zoll Durchmeſſer aus, und verſieh den Rand deſſelben mit einem Ringe aus ſtarkem Papier. Hierauf lege vier Drähte von 7—8″ Länge in ein Bündel zuſammen, und vereine ſie $^1/_3$ von einem ihrer Endpunkte entfernt durch mehrere Umdrehungen; es bleiben 4 lange und 4 kurze Enden frei. Letztere biege etwas in die Höhe, ſo daß ein Neſt entſteht, worin etwa ein Kubikzoll Watte Platz hat. Die 4 langen Drahtenden biege ſo, daß ſie ein rechtwinkeliges Kreuz bilden, und verbinde ſie dergeſtalt mit dem Papierringe, daß ſie zwei Durchmeſſer deſſelben darſtellen. Nun tränke etwas Baumwolle mit Spiritus, und ſtecke ſie an den bezeichneten Ort. Hierauf faſſe den Ballon bei dem Drathkreuze, und blähe ihn auf, indem du ihn ſchnell gegen die Luft bewegſt. Zündeſt du den Spiritus an, ſo ſteigt der Ballon — im Zimmer ſtets und ſchnell, im Freien nur bei Windſtille. Bei unruhiger Luft geräth er leicht in Brand. Abends nimmt ſich die transparente, vier Fuß im Durchmeſſer haltende Kugel gar ſtattlich aus.

Digitized by Google

§ 76. Fragen und Aufgaben zur Wiederholung.

1. Welches sind die drei wichtigsten Eigenschaften der Luft?
2. Welcher wesentliche Unterschied zeigt sich zwischen luftförmigen Körpern einerseits und festen und tropfbaren Körpern andererseits hinsichtlich des Zusammenhangs ihrer Theile?
3. Inwiefern kann man von einer einseitigen Elasticität der Luft sprechen?
4. Wie offenbart sich das Bestreben der Luft, sich immer weiter auszudehnen?
5. Welche andere Kraft wirkt diesem Streben entgegen?
6. Was versteht man unter der Diffusion der Gase?
7. Wie läßt sich die Zusammendrückbarkeit der Luft nachweisen?
8. Hat dichtere oder dünnere Luft eine größere Spannkraft? (Das Mariotte'sche Gesetz.)
9. Wie offenbart sich die größere Spannkraft der zusammengedrückten Luft bei der Klystierspritze, bei dem Blaserohre, bei der Hollunderbüchse?
10. Beschreibe den Heronsball oder das Spritzglas und erkläre die Erscheinungen bei demselben!
11. Warum strömt die Luft aus einer verkorkten Flasche, die man aus der Ebene auf einen hohen Berg trägt und dort öffnet?
12. Warum ist der Luftdruck im Zimmer eben so stark als im Freien?
13. Beschreibe das pneumatische Feuerzeug!
14. Warum läuft das Wasser aus einer Flasche nicht aus, wenn man sie mit ihrer offnen Mündung unter Wasser taucht?
15. Beschreibe und erkläre das ruckweise Ausfließen des Wassers aus einer offenen mit der Mündung nach unten gekehrten Flasche!
16. Warum sitzen die Schröpfköpfe fest auf der Haut?
17. Warum bekommt der Tabakraucher den Rauch in den Mund?
18. Beschreibe einen Blasebalg!
19. Beschreibe die Taucherglocke!
20. Beschreibe den Stechheber und erkläre die Erscheinungen bei demselben!
21. Wie ist der Zaubertrichter construirt?
22. Warum fließt der Saugheber?
23. Beschreibe den Vexirbecher!
24. Beschreibe eine Saugpumpe!
25. Beschreibe eine Saug- und Druckpumpe!
26. Beschreibe ein Gefäß- und ein Heber-Barometer!
27. Warum darf das Barometer im Zimmer hängen?
28. Wozu dient das Barometer?
29. Was ist die Torricellische Leere?

Digitized by Google

30. Warum kann das Barometer als Wetterglas dienen?
31. Beschreibe eine Windbüchse!
32. Beschreibe eine Feuerspritze!
33. Wie kommt es, daß bei einer Schiebelampe das Oel stets gleich hoch steht?
34. Beschreibe eine Ventil-Luftpumpe!
35. Beschreibe eine Hahn-Luftpumpe!
36. Gieb die wichtigsten Luftpumpen-Versuche an!
37. Beschreibe die atmosphärische Eisenbahn!
38. Beschreibe den atmosphärischen Telegraphen!
39. Erkläre das Fliegen!
40. Welches sind die beiden Arten der Luftballons, und wodurch unterscheiden sie sich?

Digitized by Google

Zweite Abtheilung.

Der Schall, das Licht und die Wärme.

Digitized by Google

Digitized by Google

Erster Abschnitt.

Der Schall.

§ 77. Die Entstehung des Schalles und die verschiedenen Arten desselben.

Jeden Eindruck, welchen wir mittelst unserer Gehörwerkzeuge empfinden, nennen wir einen Schall. Dieser Name bezeichnet mithin alles Hörbare. Wenn die Glocke geläutet wird, wenn der Hammer des Schmiedes auf den Ambos niederfällt, wenn der Vogel singt, wenn die Peitsche geschwungen wird, wenn die Feder über das Papier hinfährt, wenn die Luft aus dem Ofen in die Schornsteinröhren hinaufsteigt, wenn der Donner rollt, der Wagen rasselt, die Kette klirrt, die Saite tönt u. s. w. u. s. w., so vernehmen wir einen Schall.

Unsere Sprache ist sehr reich an Bezeichnungen für das Hörbare, wie schon aus den so eben angeführten Beispielen hervorgeht, und diese Bezeichnungen sind in der Regel Nachahmungen des vernommenen Schalles, z. B. donnern, rollen, sausen, brausen, heulen, grunzen, pochen, zischen, knistern, murmeln, plätschern, brummen, summen, krähen, ächzen, wimmern u. s. w. Einen plötzlichen, rasch vorübergehenden aber heftigen Schall nennen wir einen Knall. Der Schall, welcher mittelst unserer Sprachwerkzeuge beim Sprechen erzeugt wird, heißt ein Laut.

Von den Glocken, den Saiten, Pfeifen, Blasinstrumenten, angestoßenen Gläsern, Stimmgabeln u. dgl. sagen wir, daß sie klingen; diesen Ausdruck gebrauchen wir, wenn der Schall mit einer gewissen Regelmäßigkeit auftritt, wenn er nicht als ein bloßes Geräusch, sondern in einer größeren oder geringeren Klarheit erscheint.

Digitized by Google

Ist ein Klang so beschaffen, daß wir seine Höhe deutlich wahrnehmen und bestimmen können, so daß wir im Stande sind, ihn nachzusingen oder auf einem musikalischen Instrumente anzugeben, so nennen wir ihn einen Ton.

Wie entsteht nun aber ein Schall? — Schlagen wir mit einem Hammer an eine frei hängende Glocke, so nehmen wir ein Erzittern derselben wahr, so lange sie klingt. Ist sie mit Sandkörnchen bestreut, so hüpfen die meisten derselben empor. Diese Bewegungen der Glocke nennen wir Schwingungen. Fassen wir die Glocke mit der Hand an, so hindern wir ihre Schwingungen zum Theil oder gänzlich; ihr Klang wird schwächer und dumpfer oder er hört gänzlich auf. — Streichen wir die Saiten einer Violine mittelst des Bogens, so gerathen sie gleichfalls in Schwingungen, die unser Auge wahrnimmt, und so lange diese dauern, vernehmen wir einen — leiser und leiser werdenden — Ton. Berühren wir die schwingende Saite mit dem Finger, so hemmen wir die Schwingungen, und der Ton hört auf. — Die Glocke wie die Saite sind feste, elastische Körper; wir haben also gefunden, daß

ein Schall entsteht, wenn ein fester, elastischer Körper in Schwingungen geräth.

Aber auch solche feste Körper, welche sehr wenig Elasticität besitzen, können in Schwingungen gerathen, und dadurch einen Schall erzeugen; nur sind ihre Schwingungen unregelmäßiger, weshalb der Schall ein verworrener ist. Die Thür wird durch das Anklopfen, das Papier durch das Zerreißen, der Fußboden durch unsern Fußtritt u. s. w. in Schwingungen gesetzt. Wir erweitern daher unsere vorige Erklärung dahin, daß

ein Schall entsteht, wenn ein fester Körper in Schwingungen geräth.

Wenn Regentropfen in eine Pfütze, einen Teich oder Fluß fallen, wenn also Wasser mit Wasser zusammenstößt, so vernehmen wir gleichfalls einen Schall, weil das Wasser — wiewohl seine Elasticität äußerst gering ist — durch die auffallenden Tropfen in Erschütterung (Schwingungen) geräth.

Digitized by Google

Bei den Blasinstrumenten und Orgelpfeifen endlich ist es keineswegs das hölzerne oder metallene Instrument, dessen Schwingungen den Ton erzeugen, sondern es ist die von demselben eingeschlossene Luftsäule, welche schwingt. Daß dem so sei, geht deutlich daraus hervor, daß der Schall durch das Anfassen des Instruments weder aufgehoben noch auch nur gedämpft wird; ferner daraus, daß der Ton sofort ein anderer wird, wenn man die Luftsäule (z. B. durch Oeffnung der Tonlöcher oder Klappen) verkürzt.

Mithin entsteht ein Schall nicht allein durch die Schwingungen eines festen, sondern auch durch die eines tropfbar-flüssigen oder luftförmigen Körpers, und wir kommen zu der umfassenden Erklärung:

ein Schall entsteht, wenn irgend ein Körper in Schwingungen geräth.

Aber es kommt noch Eins hinzu. Knüpfen wir einen Bindfaden an ein Tischbein fest, und fassen das freie Ende mit der Hand, so können wir ihn durch Reißen mit einem Finger der anderen Hand in Schwingungen versetzen, ohne daß ein Schall entsteht. Je stärker wir den Faden spannen, desto rascher werden seine Schwingungen, aber erst wenn dieselben so schnell sind, daß wir sie nicht mehr zählen können, vernehmen wir einen Ton. So müssen wir denn schließlich sagen:

Ein Schall entsteht, wenn ein Körper in hinlänglich schnelle Schwingungen geräth.

Die Lehre vom Schalle nennt man die Akustik; spricht man also von den akustischen Verhältnissen eines Saales, einer Kirche u. dgl. so meint man die den Schall betreffenden Verhältnisse, z. B. ob Instrumente oder die menschliche Stimme in den besprochenen Räumen gut oder schlecht klingen, ob man einen Redner gut oder schlecht versteht u. s. w.

§ 78. Die Fortpflanzung des Schalles.

Ein Schall ist für uns nur insofern vorhanden, als er in unser Ohr gelangt. Dies geschieht, indem der in Schwingungen

Digitized by Google

gerathene Körper diese einem andern — einem Träger oder Leiter des Schalles — mittheilt, welcher sie unsern Gehörwerkzeugen zuführt.

In den meisten Fällen ist die atmosphärische Luft der Schallleiter. Sie wird durch die Schwingungen des in Erschütterung gerathenen Körpers gleichfalls in Schwingungen versetzt. Der Vorgang hierbei ist am besten mit den im Wasser durch einen hineingeworfenen Stein erzeugten kreisförmigen Wellen (§ 49) zu vergleichen. Durch die Schwingungen des schallenden Körpers wird eine Verdichtung der in seiner unmittelbaren Nähe befindlichen Luft bewirkt. Indem sich die verdichtete Luftmasse wieder ausdehnt, verdichtet sie die nächstliegende Luft, die sich alsbald wiederum ausdehnt, und die Verdichtung weiter fortpflanzt; auf diese Weise entstehen immer weitere Luftwellen, die aber immer schwächer werden, je größer die Entfernung wird, bis sie endlich aufhören. Diese Luftwellen bilden sich aber nicht bloß — wie dies bei dem Wasser der Fall ist — in einer wagrechten Ebene, sondern nach allen Seiten hin, so daß der Punkt, wo der Schall entsteht, Mittelpunkt einer Kugel von Luftwellen ist. Die gerade Linie aus dem Mittelpunkte der Wellenkugel bis in unser Ohr heißt ein Schallstrahl.

Wie die Wasserwellen, welche von zwei in einiger Entfernung von einander ins Wasser geworfenen Steinen gebildet werden, sich durchkreuzen, ohne sich gegenseitig zu stören, so ist dies auch bei den Schallwellen der Fall, die durch mehrere gleichzeitige Töne erzeugt werden.

Bei unseren Gehörwerkzeugen unterscheiden wir das äußere, das mittlere und das innere Ohr. Zu dem äußeren Ohre gehört die Ohrmuschel und der Gehörgang. Die Ohr-

Digitized by Google

muſchel (a) fängt die Schallwellen auf, und leitet ſie durch den wenig gekrümmten, etwa 9 Linien langen Gehörgang (b) zu dem Trommelfell (c), einer ſehr feinen Haut, welche denſelben an ſeinem hinteren Ende verſchließt. Hinter dem Trommelfelle folgt das mittlere Ohr. Es beſteht aus einer Höhlung, der Trommelhöhle, welche vier zarte Knöchelchen: den Hammer (a), den Ambos (b), das linſenförmige Bein (c) und den Steigbügel (d) enthält. Durch zwei Oeffnungen (Fenſter) ſteht die Trommelhöhle mit dem innerſten Theile des Ohres, dem mehrfach gewundenen knöchernen Labyrinthe, in Verbindung. Dieſes iſt mit einer Flüſſigkeit gefüllt, in welche der aus dem Gehirn kommende Gehörnerv ſich auflöſet. Außerdem führt ein Kanal, die Euſtachiſche Röhre, aus der Trommelhöhle in die Mundhöhle. — Wird nun das Trommelfell durch eine Schallwelle in ſchwingende Bewegung geſetzt, ſo theilt ſich dieſelbe den Gehörknöchelchen, durch dieſe aber der Flüſigkeit des Labyrinths und dem Gehörnerven mit.

Die atmoſphäriſche Luft iſt aber weder der alleinige, noch der beſte Schallleiter. Auch tropfbarflüſſige Körper leiten den Schall fort. Daher hören die Schwimmer, wenn ſie untertauchen; man hört eine unter Waſſer angeſchlagene Glocke außerhalb deſſelben; umgekehrt hören die Fiſche im Waſſer das Läuten einer außerhalb befindlichen Glocke, durch welche ſie zur Fütterung gerufen werden. Der Schall einer unter Waſſer geſenkten und dort geläuteten Glocke pflanzt ſich viermal ſchneller fort, als in der Luft.

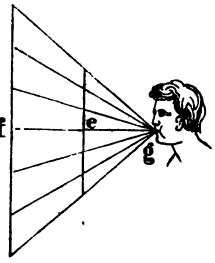
Feſte, beſonders elaſtiſche Körper leiten den Schall beſſer als die Luft. Das Ticken einer auf das eine Ende eines

Digitized by Google

langen Holzbalkens gelegten Taschenuhr hören wir sehr deutlich, wenn wir das Ohr an das andere Ende halten, während wir es nicht wahrnehmen, wenn die Uhr in der gleichen Entfernung frei gehalten wird. — Wir legen uns mit dem Ohre auf die Erde, um entfernten Kanonendonner, Glockenklang u. s. w. besser zu hören; die Wilden werfen sich auf die Erde, um die Fußtritte ihrer Feinde wahrzunehmen. — Verstopft man sich die Ohren, und nimmt dann einen Bindfaden, an welchem ein silberner Löffel hängt, zwischen die Zähne, so hört man einen starken, glockenartigen Klang, wenn man den Löffel mit einem festen Körper anschlägt. In Bergwerken und Minengängen hört der Arbeiter den durch das Gestein fortgeleiteten Schall eines ihm entgegen Arbeitenden. — Nimmt man bei fest verstopften Ohren einen Drath zwischen die Zähne, und berührt mit dem anderen Ende desselben den Resonanzboden eines Klaviers, so hört man die Töne desselben deutlich und stark.

§ 79. Die Stärke des Schalles.

Jeder Schall ist an dem Orte seiner Entstehung am stärksten; je näher demnach unser Ohr dem schallenden Körper ist, desto stärker ist der Schall, den es vernimmt. Die abwechselnde Verdichtung und Verdünnung der Luft wird, wie wir § 78. nachwiesen, immer unbedeutender, je mehr die Entfernung wächst, bis sie endlich völlig unmerkbar ist. Ein Schall, den wir in einer gewissen Entfernung hören, wird viermal so schwach, wenn wir uns doppelt so weit entfernen, neunmal so schwach bei dreimal so weiter Entfernung u. s. w. Fängt man z. B. die aus dem Munde eines Sprechenden kommenden Schallstrahlen bei e mit einer quadratförmigen Tafel auf, so bilden dieselben eine Spitzsäule, deren Höhe = eg ist. Werden aber Strahlen in doppelter Entfernung (fg) aufgefangen, so ist dazu — wie die Meßkunst lehrt — eine viermal so große



Digitized by Google

Fläche erforderlich. Die Strahlen sind also dort viermal so locker, und das Ohr vernimmt den Schall nur $^1/_4$ mal so stark, als in e. Daher lautet das Naturgesetz:

Die Stärke des Schalles vermindert sich in dem Verhältnisse der Quadrate der Entfernung.

Es ist aber nicht die Entfernung allein, welche auf die größere oder geringere Stärke des Schalles Einfluß hat. Der Schall wird in derjenigen Richtung, in welcher der schallende Körper seine Schwingungen macht, am stärksten gehört. Der Ton einer Trompete, der Knall eines Geschützes wird in der Richtung des Rohres stärker fortgepflanzt, als seitwärts. Wir verstehen einen Sprechenden deutlicher, wenn er sein Gesicht uns zukehrt u. s. w. — Je größer die schwingende Masse ist, desto stärker ist der Schall. Daher tönt ein Kanonenschuß weit lauter als ein Pistolenschuß, und während man die Worte eines mit mäßiger Kraft sprechenden Menschen etwa auf 70 Fuß Entfernung versteht, hört man das Tosen eines Wasserfalls, den Donner der Geschütze, die Explosion eines Vulkans meilenweit. — Je größer die Schwingungen sind, desto stärker ist der Schall. Daher schlägt man kräftig auf die Tasten des Klaviers, wenn man Forte spielen will, und leise Töne werden durch einen schwachen Anschlag erzeugt. Durch schwächeres oder stärkeres Anklopfen an die Thür werden geringere oder bedeutendere Schwingungen derselben, mithin ein schwächerer oder stärkerer Schall erzeugt u. s. w. — Je dichter die Luft ist, desto stärker ist der Schall. Daher sprechen Taucher in der Taucherglocke nur leise mit einander, weil jedes laut gesprochene Wort außerordentlich stark schallt. Ein Pistolenschuß knallt in der Tiefe eines Bergwerks sehr stark, auf hohen Bergen auffallend schwach. In einem kalten Zimmer klingt ein Instrument lauter, als in einem heißen, und in den Polargegenden hört man die menschliche Stimme sehr weit. — In feuchter Luft wird ein Schall minder stark vernommen, als in trockener, weil die Feuchtigkeit die Spann-

Digitized by Google

kraft der Luft vermindert. Daher wird Glockengeläut bald in weiter, bald nur in geringer Entfernung gehört.

Es giebt Mittel, den Schall zu verstärken oder zu dämpfen. Der elastische Resonanzboden der Klaviere und Violinen geräth bei dem Erklingen der Saiten mit in Schwingungen und verstärkt den Ton. Klemmt man ein gespaltenes Stückchen Holz auf den Steg einer Violine, so werden die Schwingungen desselben geschwächt und in geringerer Stärke auf den Resonanzboden fortgepflanzt, daher erscheint der Ton gedämpft. Bekanntlich wenden die Violinspieler besondere Dämpfer für diesen Zweck an. Die Saiten der Klaviere durchflicht man mit Tuchstreifen, um ihre Schwingungen zu mäßigen. Ein Instrument klingt in einem leeren Zimmer mit nackten Wänden ungleich stärker, als in einem, dessen Wände mit starken Tapeten beklebt sind und das voll Geräthschaften oder voll Menschen ist. Die Orgel tönt in der leeren Kirche weit kräftiger, als in der vollen. Wenn eine Saite stark tönt, so klingen Saiten von gleicher Tonhöhe leise mit. Ja bei irgend einem starken Orgeltone klirrt oft eine Fensterscheibe, welche bei jedem andern Tone schweigt, oder es erzittert ein loses Brett. Die angeschlagene Stimmgabel tönt nur schwach, wenn man sie frei in der Hand hält; ihr Ton wird bedeutend verstärkt, wenn man sie auf einen Tisch oder auf den Resonanzboden eines Klaviers stellt. Es giebt sogar Menschen, welche Trinkgläser zu zersprengen im Stande sind, indem sie den Ton, welchen das Glas hat, in dasselbe hinein schreien. Wenn der Erdboden mit weichem Schnee bedeckt ist, so erscheint der Glockenton sehr gedämpft, während er bei hartem Froste durch die Schwingungen des Erdreichs bedeutend verstärkt wird u. s. w.

§ 80. Die Geschwindigkeit des Schalles.

Geben wir Acht, wenn in bedeutender Entfernung von uns ein Jäger sein Gewehr abschießt, so hören wir den Knall später, als wir das Feuer des Schusses erblicken; je weiter wir entfernt sind, desto bedeutender ist die Zwischenzeit. Dasselbe nehmen wir wahr, wenn wir einen Holzhauer oder die mit dem Einrammen

Digitized by Google

von Pfählen beschäftigten Arbeiter aus der Ferne beobachten; wir sehen die Axt und den Bären der Ramme früher niederfallen, als wir den Schall vernehmen. Es vergeht demnach eine gewisse Zeit, ehe ein an einem entfernten Orte entstehender Schall an unser Ohr gelangt.

Behufs der Bestimmung der Geschwindigkeit des Schalles hat man Versuche angestellt, indem man eine Kanone auf einem Berge abfeuern ließ, und an einem Orte, dessen Entfernung man genau kannte, beobachtete, wieviel Zeit zwischen Blitz und Knall verfloß. Die Erscheinung des Blitzes konnte man dabei als augenblicklich wahrnehmbar betrachten, da das Licht in einer Secunde 40,000 Meilen durchläuft. Man hat nun gefunden, daß der Schall in einer Secunde 1050 Fuß zurücklegt, denn wenn der Beobachter eine Meile (24,000 Fuß) von dem abgefeuerten Geschütz entfernt stand, hörte er den Knall erst 23 Secunden später, als er das Feuer wahrgenommen hatte.

Hieraus ergiebt sich, daß, wenn man bei einem Gewitter zwischen Blitz und Donner 23—24 ruhige Pulsschläge zählen kann, dasselbe eine Meile entfernt ist. So kann man auch aus der Zeit, welche bei den Nothschüssen eines Schiffes zwischen Blitz und Knall liegt, die ungefähre Entfernung desselben berechnen.

Auf die Geschwindigkeit des Schalles hat die Geschwindigkeit der Schwingungen des schallenden Körpers keinen Einfluß. Wie wir weiter unten sehen werden, sind die Schwingungen, durch welche ein höherer Ton erzeugt wird, weit rascher als die bei einem tieferen Tone. Die Erfahrung lehrt aber, daß hohe und tiefe Töne sich mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzen. Eben so ist die Geschwindigkeit starker und schwacher Töne gleichgroß. Wäre dies nicht der Fall, so würde eine Musik, die wir aus einiger Entfernung vernähmen, in höchst verworrener Weise an unser Ohr gelangen.

Dagegen übt die Wärme einen wesentlichen Einfluß auf die Geschwindigkeit des Schalles aus, indem sie (wie bei dem Mariotte'schen Gesetze § 61. bemerkt wurde) die Luft zwar dünner

Digitized by Google

macht — mithin die Stärke des Schalles vermindert — aber die Spannkraft derselben vergrößert, und sie dadurch zur schnelleren Fortpflanzung des Schalles geschickter macht. Bei einer Kälte von 10° R. (§ 133.) durchläuft der Schall in einer Secunde nur ungefähr 1000 Fuß, bei 20° R. Wärme dagegen 1074 Fuß; die oben angegebene Geschwindigkeit von 1050 Fuß gilt daher nur für eine Temperatur von 10° R. Wärme.

Der Wind vermehrt oder vermindert die Geschwindigkeit des Schalles um seine eigene Geschwindigkeit, je nachdem er in der Richtung, in welcher man den Schall erhält, oder in entgegengesetzter weht.

Ein besserer Schallleiter bewirkt auch eine größere Geschwindigkeit des Schalles. Schlägt man daher an das eine Ende einer möglichst langen Metallröhre mit einem Hammer, während Jemand das Ohr an das andere Ende hält, so vernimmt dieser einen doppelten Schall: einen schnelleren, der durch das Metall, und einen langsameren, der durch die in der Röhre enthaltene Luft dem Ohre zugeführt wird.

§ 81. Die Zurückwerfung des Schalles. Das Echo.

Das Sprüchwort sagt: „Wie es in den Wald schallt, so schallt es wieder heraus“ — und weiset damit auf die allbekannte Erscheinung hin, welche wir das Echo oder den Wiederhall nennen. Rufen wir ein Wort aus einer gewissen Entfernung gegen eine feste Wand, z. B. gegen einen dichten Wald, eine hohe Mauer, einen Felsen u. dgl., so vernehmen wir oft eine deutliche Wiederholung desselben.

Behufs der Erklärung dieser interessanten Erscheinung vergegenwärtigen wir uns das § 19. über den Stoß elastischer Körper Mitgetheilte. Wir erfuhren dort, daß ein elastischer Körper, welcher eine Wand unter einem rechten Winkel trifft, in derselben Linie zurückläuft, in welcher er sich vorwärts bewegte; daß er aber, wenn er die Wand unter einem andern Winkel trifft, unter einem gleichgroßen Winkel aber in entgegen-

Digitized by Google

gesetzter Richtung zurückspringt, so daß sich das Naturgesetz offenbarte: „Der Zurückwerfungswinkel ist dem Einfallswinkel gleich.“ Dieses Gesetz gilt auch in Beziehung auf den Schall. Stößt nämlich eine Schallwelle an einen festen Körper, so wird sie von demselben in entgegengesetzter Richtung zusammengedrückt, und es entsteht in dieser Richtung eine neue Wellenbewegung, welche einen zweiten, dem ursprünglichen gleichenden, nur schwächeren Schall bildet. In geschlossenen Räumen, z. B. in Zimmern, kehrt der durch Zurückwerfung entstandene Schall so schnell an das Ohr zurück, daß er von dem ursprünglichen nicht unterschieden werden kann, sondern diesen nur verstärkt. Daher versteht man einen Sprechenden im Zimmer leichter, als im Freien. In großen Räumen, z. B. in weiten Sälen, großen Kirchen kehrt der zurückgeworfene Schall oft um ein geringes Zeittheilchen später zurück, und bildet einen Nachhall, der nicht selten die Rede, den Gesang oder die Musik undeutlich macht, indem das nachfolgende Wort, der zweite Ton mit dem Nachhall des vorhergehenden sich vereinigt. Soll aber an dem Orte der Entstehung des Schalles ein wirkliches Echo vernommen werden, so darf der durch Zurückwerfung entstandene Schall nicht mehr mit dem ursprünglichen zusammentreffen, sondern sie müssen deutlich geschieden sein. Nun lehrt die Erfahrung, daß auch ein scharfes Ohr in einer Secunde nicht mehr als neun auf einander folgende Laute (Silben, Töne) zu unterscheiden vermag; es muß also zwischen Schall und Echo mindestens eine Neuntel-Secunde liegen. Da nun der Schall in $^1/_9$ Secunde einen Raum von $^{1050}/_9$ d. i. fast 116 Fuß durchläuft, so muß, indem diese 116 Fuß sich auf den Hin- und Rückweg des Schalles vertheilen, die zurückwerfende (reflectirende) Wand mindestens $^{116}/_2 = 58$ Fuß entfernt sein. — Befinden wir uns nicht an dem Orte der Entstehung des Schalles, der ein Echo bewirkt, so werden wir nur dann Schall und Echo vernehmen und unterscheiden können, wenn der Weg des Schalles zu der Zurückwerfungsfläche und von da bis zu unserem Ohre mindestens 58 Fuß mehr beträgt, als die gerade Linie von dem

Digitized by Google

Entstehungsorte bis zu unserem Ohre, denn nur in diesem Falle gelangt das Echo $^1/_9$ Secunde später an unser Ohr, als der ursprüngliche Schall.

Bei einer Entfernung von 58 Fuß von der zurückwerfenden Wand hören wir nur das Echo von der letzten Silbe einer gesprochenen Rede, denn das Echo der ersten Silbe fällt mit der zweiten gesprochenen Silbe zusammen, das der zweiten mit der dritten u. s. w., so daß wir nur die Wiederholung der letzten Silbe vernehmen können. Soll ein zweisilbiges Echo gehört werden, so muß die reflectirende Wand mindestens 2 . 58 = 116 Fuß entfernt sein. Ein zweisilbiges Wort wird in diesem Falle ganz wiederholt, von einem mehrsilbigen aber bringt das Echo nur die beiden letzten Silben, indem die Wiederholung der früheren Silben noch mit der gesprochenen Rede zusammenfällt. In ähnlicher Weise giebt es drei- und mehrsilbige Echo's.

Wenn, wie wir bis jetzt annahmen, die Wiederholung einer oder mehrerer Silben nur einmal erfolgt, so heißt das Echo ein einfaches. Es giebt aber auch mehrfache Echo's, welche eine oder mehrere Silben mehr als einmal wiederholen. Ein solches mehrfaches Echo entsteht dann, wenn eine Zurückwerfungswand nur einen Theil des Schalles als erstes Echo zurückgiebt, den anderen aber einer zweiten Wand zuwirft, von der aus sie als ein zweites Echo (ein Echo vom Echo) an das Ohr des Hörers gelangt. Unter besonderen Umständen kann die zweite Wand wiederum einen Theil der Schallwellen einer dritten, diese einer vierten u. s. w. zuwerfen, so daß ein vielfaches Echo entsteht.

Merkwürdige Echo's sind z. B. in Adersbach in Böhmen, wo man einen Pistolenschuß siebenmal, kurze musikalische Sätzchen mindestens dreimal hört; auf dem kreisrunden Echo- oder Königsplatze zu Kassel, wo die letzte Silbe einer Rede neunmal, ferner am Lurleifelsen zwischen Bingen und Coblenz, wo ein Wort siebzehnmal wiederholt wird u. s. w. Im Alterthume berühmt war unter Andern ein Echo zu Rom, welches funfzehn Silben achtmal deutlich und noch einige Male undeutlich

Digitized by Google

wiederholte; ein anderes auf der Villa Simonetta bei Mailand, welches einen Ruf dreißig-, einen Schuß sechzigmal zurückgab; ein drittes in einem Gebäude zu Pavia, welches zwei Silben dreißigmal wiederholte. — Ein Echo bei Rosneath in Schottland wiederholt kurze Sätze mehrere Male in verschiedener Tonhöhe. Bei einem anderen zu Rouen in Frankreich hört der Sänger keine Wiederholung seiner Töne, die auf verschiedenen Standpunkten befindlichen Zuhörer aber vernehmen nicht die Urtöne, sondern nur das Echo und zwar mit den mannigfachsten Abänderungen.

§ 82. Das Verbindungsrohr, das Sprachrohr, das Hörrohr, die Sprachgewölbe.

Spricht man in eine lange, walzenförmige, überall gleichweite Röhre, so werden die Schallwellen an ihrer allseitigen Verbreitung gehindert, und ein schwacher Schall wird viel weiter fortgepflanzt, als es ohne dieses Mittel der Fall sein würde. Durch die Röhre einer Wasserleitung zu Paris hörte der Physiker Biot leise gesprochene Worte in einer Entfernung von 3000 Fuß. Solche Verbindungs-, Communications- oder Schallröhren werden zuweilen absichtlich angelegt, theils um der interessanten Wirkung willen, theils zu nützlichen Zwecken, z. B. um auf Schiffen eine Verbindung zwischen der Cajüte des Capitains und dem Wachtposten auf dem Mastkorbe herzustellen, um in Gebäuden Mittheilungen an entlegene Punkte machen zu können. In großen Conditoreien pflegt ein Verbindungsrohr zwischen dem Verkaufsladen und der Küche angebracht zu sein.

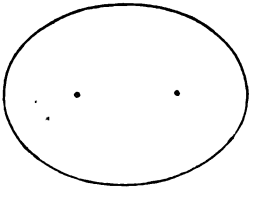
Das Sprachrohr, mittelst dessen man die Tragweite der menschlichen Stimme bedeutend vergrößert, dessen sich daher besonders Schiffsoffiziere und Thurmwächter bedienen, ist eine kegelförmige Röhre aus Pappe oder Blech, an deren engerem Ende sich ein Mundstück befindet. Worte, welche man in dieses Mundstück ruft, hört man sehr weit, weil die Schall-

Digitized by Google

strahlen nach mehrmaliger an den Seitenwänden stattgefundener Brechung fast parallel ins Freie gelangen. Die auf Schiffen angewendeten Sprachröhre sind meist 4—6 Fuß lang, und ihr Durchmesser beträgt am engeren Ende 2, am weiteren 6—10 Zoll.

Das Hörrohr fängt durch sein weites, trichterförmiges Ende möglichst viele Schallstrahlen auf, vereinigt sie durch Brechung derselben, und läßt sie durch sein engeres Ende an das Trommelfell gelangen, doch erzeugt die wiederholte Brechung ein störendes Brausen im Ohr.

Eigenthümliche Erscheinungen bieten die sogenannten Sprachgewölbe dar, welche in Form einer Ellipse gebaut sind. Eine Ellipse ist ein Langrund mit zwei eigenthümlichen Punkten, welche man die Brennpunkte nennt. (Verbindet man zwei Holzstäbe durch eine Schnur, schlägt sie in einer Entfernung von einander in den Boden, die geringer ist als die Länge der Schnur, spannt dann die Schnur, so daß sie über den einen Stab hinausreicht, und führt sie — in steter Spannung — um die Stäbe herum, indem man den Weg mittelst eines zugespitzten Pflöckchens im Boden bezeichnet, so erhält man eine Ellipse, und die beiden Pfähle bezeichnen die Brennpunkte derselben.) Ist nun ein Gewölbe ellipsenförmig (ein solches Zimmer befindet sich auf der Sternwarte zu Paris), so werden alle von dem einen Brennpunkte ausgehenden Schallstrahlen von den Wänden in den zweiten Brennpunkt geworfen; was daher in dem einen Brennpunkte leise gesprochen wird, versteht man in dem andern, während man an den zwischenliegenden Punkten nichts hört. — Ein berühmtes Sprachgewölbe bildet die Kuppel der St. Peterskirche zu Rom. Zwei Personen, welche sich an die beiden über 100 Fuß entfernten Brennpunkte stellen, können sich leise unterhalten, ohne daß es Andere hören. — Das merkwürdigste Sprachgewölbe



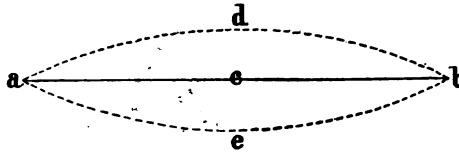
Digitized by Google

aber soll das sogenannte Ohr des Tyrannen Dionysius zu Siracus gewesen sein, eine in Fels gehauene, dem menschlichen Ohre nachgebildete Grotte, welche er als Gefängniß benutzt haben soll. Man erzählt, daß das leiseste Wort in derselben wie lautes Geschrei, Husten wie Donner, das Auseinanderschlagen eines Taschentuches wie ein Schuß getönt habe, so daß jedes Wort der dort Eingesperrten von dem Tyrannen in seinem oberhalb angebrachten Zimmer verstanden worden sei.

§ 83. Tönende Saiten und Saiteninstrumente.

Bereits § 77. haben wir besprochen, daß eine Saite tönt, wenn sie in hinreichend schnelle Schwingungen versetzt wird.

Spannt man einen Bindfaden über zwei etwa sechzehn Fuß entfernte Stuhllehnen, indem man ihn an die eine festbindet, das andere Ende aber mit einem Gewicht beschwert, hebt nun den Faden in der Mitte empor und läßt ihn los, so geräth er in Schwingungen, welche so langsam erfolgen, daß man sie zählen



kann. Gesetzt, man habe den Faden acb bis d gehoben, so kehrt er, sobald man ihn losläßt, vermöge seiner Elasticität mit beschleunigter Geschwindigkeit in seine ursprüngliche Lage acb zurück. Vermöge der Beharrlichkeit aber setzt sich die Bewegung fort bis zu der Lage aeb, jedoch mit abnehmender Geschwindigkeit, weil jetzt die Elasticität der Bewegung entgegenwirkt. Die Elasticität nöthigt nun den Faden zur Rückkehr in die Lage acb; dem Beharrungsgesetze gehorchend geht er wieder bis beinahe nach adb. Dämit hat er eine ganze oder Doppel-Schwingung vollbracht, auf welche sofort die zweite folgt u. s. w. Die Schwingungen werden wegen des Widerstandes der Luft allmählig

Digitized by Google

immrr kleiner, bis der Faden endlich in seiner ursprünglichen Lage a c b in Ruhe kommt. Der ganze Vorgang hat viele Aehnlichkeit mit den Schwingungen des Pendels (§ 18). — Verkürzt man den Faden um die Hälfte, so schwingt er doppelt so schnell; das Drittel schwingt drei-, das Viertel viermal so schnell u. s. f. Ein Schall wird jedoch erst vernommen, wenn der Faden in der Secunde mindestens 16 Doppelschwingungen macht.

Je schneller die Saite schwingt, einen desto höheren Ton giebt sie.

Die Schnelligkeit der Schwingungen hängt ab:

a) von der Länge der Saite, wie dies so eben besprochen wurde. Je kürzer die Saite ist, desto schneller schwingt sie. Daher werden die Saiten des Flügels und der Harfe immer kürzer, je höher der Ton ist, den sie angeben sollen.

b) von der Spannung der Saite. Je schärfer die Saite gespannt ist, desto größer ist die Zahl ihrer Schwingungen. Daher wird der Ton der Violinsaiten höher, wenn man sie mittelst der Wirbel schärfer spannt, obgleich die Länge des tönenden Theiles unverändert bleibt.

c) von der Dicke der Saite. Je dicker die Saite ist, desto geringer ist die Zahl ihrer Schwingungen; daher wählt man für die tiefen Töne der Saiteninstrumente dickere Saiten.

d) von dem Stoffe, aus welchem sie verfertigt ist. Je größer das specifische Gewicht des Stoffes ist, desto geringer ist die Zahl der Schwingungen; daher überspinnt man die tieferen Saiten der Violine mit Silberdrath.

Uebrigens ist bei der nämlichen Saite die Dauer einer Schwingung von der Größe derselben unabhängig, wie dies auch bei den Pendelschwingungen der Fall ist. Wäre es nicht so, dann müßte der Ton einer angeschlagenen Klaviersaite im Fortklingen, wobei die Schwingungen immer kleiner werden, sich erhöhen; die Erfahrung lehrt aber, daß die Tonhöhe unverändert

Digitized by Google

bleibt, woraus sich ergiebt, daß die kleineren Schwingungen nicht rascher erfolgen, als die anfänglichen größeren.

Der tiefste Ton, den unser Ohr zu vernehmen vermag, ist das sogenannte zwei und dreißigfüßige oder Subcontra-C (C) welches in großen Orgelwerken erklingt, wenn man ein zwei und dreißigfüßiges Register (s. unten § 85) zieht, und die tiefste C-Taste niederdrückt. Dieser Ton macht in der Secunde 16 Doppelschwingungen. — Wenn eine Saite dieses tiefste C angiebt, so klingt ihre Hälfte — indem sie 32 Doppelschwingungen macht, eine Octave höher. Der Ton ist das sechzehnfüßige oder Contra-C (C). — Halbirt man die Hälfte abermals, so daß man nur das Viertel der ursprünglichen Saite nimmt, so erhält man das große C (C) mit 64 Doppelschwingungen. —

1/8	giebt das kleine c	(c)	mit 128	Doppelschwingungen;	
1/16	— — eingestrichene c	(c)	— 256	—	—
1/32	— — zweigestrichene c	(c)	— 512	—	—
1/64	— — dreigestrichene c	(c)	— 1024	—	—
1/128	— — viergestrichene c	(c)	— 2048	—	—
1/256	— — fünfgestrichene c	(c)	— 4096	—	—
1/512	— — sechsgestrichene c	(c)	— 8192	—	—

Letzteres wird als der höchste unterscheidbare Ton betrachtet, doch versteigt sich die Musik nicht leicht bis zu solcher Höhe.

Der Ton, welchen eine ungetheilte Saite angiebt, heißt der Grundton derselben. Nehmen wir nun eine Saite, welche in ihrer ganzen Länge das große C angiebt — also z. B. die stärkste Saite auf dem Violoncello — so giebt, wie wir besprochen haben, die Hälfte derselben die nächsthöhere Octave, also das kleine c.

Digitized by Google

1/3 giebt die Octave von der Quinte, das kleine $\bar{g}$;
1/4 — — Octave von der Octave, das eingestrichne $\bar{c}$;
1/5 — — Terz des vorigen Tones, das eingestrichne $\bar{e}$;
1/6 — — Quinte desselben, das eingestrichne $\bar{g}$;
1/7 — — Septime desselben, das eingestrichne $\bar{b}$;
1/8 — — Octave desselben, das zweigestrichne $\bar{\bar{c}}$;
1/9 — — Secunde des letztgenannten Tones, $\bar{\bar{d}}$;
1/10 — — Terz desselben, $\bar{\bar{e}}$;
1/11 — — Quarte desselben, $\bar{\bar{f}}$;*
1/12 — — Quinte desselben, $\bar{\bar{g}}$;
1/13 — — Sexte desselben, $\bar{\bar{a}}$;*
1/14 — — kleine Septime desselben, $\bar{\bar{b}}$;
1/15 — — große Septime desselben, $\bar{\bar{h}}$;
1/16 — — Octave desselben, das dreigestrichne $\bar{\bar{\bar{c}}}$;

Auf diese Weise erhalten wir durch die Zerlegung der ganzen Saite in immer kleinere einfache Theile die Tonfolge:

C—c—g—$\bar{c}$—e—g—b—$\bar{c}$—$\bar{d}$—$\bar{e}$—$\bar{f}$—$\bar{g}$—$\bar{a}$—$\bar{b}$—$\bar{h}$—$\bar{\bar{c}}$.

Diese Tonfolge ist tief in der Natur der Töne begründet. Schlägt man auf einem Flügel — [illegible] aufgehobenem Dämpfer — das große C kräftig an, indem man das Ohr auf den Resonanzboden legt, so hört man die [illegible] so eben dargestellte Reihe der Töne nach einander leise [illegible]gen, — man nennt sie die harmonisch mitklingenden Töne. Es sind dieselben, welche ein Blaseinstrument, z. B. das Waldhorn, als Naturtöne enthält, die ohne Anwendung von besondern Kunstmitteln (Ventile, Klappen, Stopfen) auf demselben angeblasen werden können.

Während diese Naturtöne in der Tiefe weit aus einander liegen, nehmen ihre Entfernungen weiter nach der Höhe zu mehr und mehr ab, bis sie von $\bar{c}$ an — wenn wir das $\bar{b}$ auslassen — diejenige Tonreihe bilden, welche unter dem Namen „diatonische Tonleiter“ in der Musik von höchster Wichtigkeit ist.

* Bei f und a ist die Saitenlänge nicht genau 1/11 und 1/13.

Digitized by Google

Setzen wir die Theilung der Saite nach den Stammbrüchen noch weiter fort, so erhalten wir ziemlich genau die chromatische Tonleiter, denn es giebt (ungefähr)

$1/16$ c, $1/17$ cis, $1/18$ d, $1/19$ dis, $1/20$ e, $1/22$ f, $1/23$ fis, $1/24$ g, $1/25$ gis, $1/26$ bis $1/27$ a, $1/28$ b, $1/30$ h, $1/32$ c.

Da sich die Schwingungszahlen der Saiten umgekehrt verhalten wie die Saitenlängen, indem eine Saite, welche halb so lang ist, doppelt so schnell schwingt, das Drittel dreimal so schnell u. s. w. (s. oben), so ergiebt sich folgendes Schema für die Saitenlängen und Schwingungszahlen der Tonleiter.

	Grundton	Secunde	Terz	Quarte	Quinte	Sexte	Septime (große)	Octave
Saitenlänge:	1,	8/9,	4/5,	3/4,	2/3,	3/5,	8/15,	1/2.
Schwingungszahl:	1,	9/8,	5/4,	4/3,	3/2,	5/3,	15/8,	2.

d. h. ist die Saite des Grundtons 9 Fuß lang, so hat die der Secunde eine Länge von 8 Fuß; und macht der Grundton 8 Schwingungen, so macht die Secunde deren 9 in derselben Zeit.

Je öfter die Schwingungen zweier Töne zusammentreffen, desto inniger verschmelzen beide, oder wie man in der Musik sagt: desto consonirender sind sie. Daher schließt sich die Octave in ihrem Klange dem Grundtone so eng an, da bei ihr schon die dritte Schwingung mit der zweiten des Grundtons, die fünfte mit dessen dritter u. s. w. gleichzeitig beginnt. Nächst der Octave ist die vollkommenste Consonanz die Quinte, da ihre vierte Schwingung mit der dritten des Grundtons, ihre siebente mit der fünften desselben zusammen beginnt u. s. w. Aus diesem Grunde ist die Verbindung des Grundtones mit seiner großen Septime (c—h) am herbsten, denn erst auf die neunte Schwingung des Grundtones trifft eine gleichzeitig beginnende Schwingung (die sechzehnte) der großen Septime.

Digitized by Google

Die Kenntniß der Schwingungs-Verhältnisse ist für das Klavierstimmen sehr wichtig. Wollte man z. B. von C zu c in großen Terzen stimmen, und jeder derselben die richtige Schärfe geben, also:

C—E, E—Gis (As), As—c,

so machte E $^5/_4$ mal so viele Schwingungen, als C; Gis $^5/_4$ mal so viele als E; c $^5/_4$ mal so viele als Gis (As); mithin würde die Octave c $\frac{5 \cdot 5 \cdot 5}{4 \cdot 4 \cdot 4} = {}^{125}/_{64}$ mal so viele Schwingungen machen, als der Grundton C. Die Octave muß aber 2 mal ($^{128}/_{64}$ mal) so oft schwingen, als der Grundton, sie würde also bei dieser Art zu stimmen auf 64 Schwingungen desselben deren 3 zu wenig machen, wäre mithin zu tief.

Stimmte man dagegen in reinen Quinten (C—G, G—d, d—a, a—e, e—h, h—fis, fis—cis, cis—gis, gis—dis (es), es—b, c—f, f—c), so erhielte man für das sechsgestrichene c

$$\frac{3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3}{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2} = \frac{531441}{4096}$$

als Schwingungszahl, während doch die siebente Octave (C bis c) nur

$$\frac{4 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 4}{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2} = \frac{16384}{128} = \frac{524288}{4096}$$

zur richtigen Schwingungszahl hat. Bei dem Stimmen nach reinen Quinten kommt man also zu hoch. Man muß deshalb die Quinte nicht ganz scharf, sondern um ein kaum Merkliches zu tief stimmen. Diese Art zu stimmen heißt die gleichschwebende Temperatur.

Hier möge einer Erscheinung gedacht werden, welche sich bei dem Stimmen der Orgeln offenbart. Der Orgelbauer stimmt (temperirt) zuerst die wichtigste Grundstimme (Principal 8') so rein als möglich nach dem Quintenzirkel. Nach dieser Stimme werden nun die übrigen gestimmt. Sobald der Ton, welcher gestimmt werden soll, in seiner Höhe dem zugleich ertönenden

Digitized by Google

gleichnamigen Principalton nahekommt, vernimmt man ein abwechselndes Stärker- und Schwächerwerden des Tones. Die Verstärkungen nennt der Orgelbauer Stöße. Sie erfolgen immer langsamer, je näher sich die beiden Tonhöhen kommen; wenn sie verschwinden, ist der Ton mit dem Principalton übereinstimmend. Der Grund von diesen Stößen ist folgender: Macht die eine Pfeife in einer Secunde 100, die andere 101 Schwingungen, so treffen nur bei dem Beginn jeder Secunde die Schwingungen beider Pfeifen zusammen, und wir hören die Verstärkung des Tones, den Stoß. Macht aber die eine Pfeife in der Secunde 100, die andere 103 Schwingungen, so entstehen in jeder Secunde drei Stöße, weil nach je $33\frac{1}{3}$ Schwingungen der einen und $34\frac{1}{3}$ der andern Pfeife die Schwingungszustände übereinstimmen u. s. w. Ueberhaupt hören wir in jeder Secunde so viele Stöße, als der Unterschied der Schwingungszahlen in dieser Zeit beträgt.

Unter gewissen Umständen erzeugen diese Stöße sogar einen besonderen dritten Ton. Klingt z. B. mit einem Tone gleichzeitig seine obere Quinte, so hört man zugleich die untere Octave des tieferen Tones. Macht dieser z. B. in der Secunde 240, also seine Quinte 360 Schwingungen, so erfolgen in der Secunde 120 Stöße, welche die untere Octave des ersten Tones erzeugen. Daher verstärken Quintenregister den Orgelton ungemein.

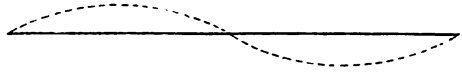
Bis jetzt betrachteten wir nur solche Schwingungen, bei denen die Saite als ein Ganzes schwingt, wie sie also entstehen, wenn man eine leere Violinsaite mit dem Bogen anstreicht. Auch wenn man dieselbe durch das gewöhnliche Greifen mittelst eines aufgesetzten Fingers verkürzt, schwingt der übrige Theil in seiner ganzen Länge.

Bekanntlich kann man aber auch auf den Violinsaiten die sogenannten Flageolet-Töne erzeugen, indem man die Saite mit dem Finger an einer bestimmten Stelle nur leise berührt, ohne sie völlig auf das Griffbrett niederzudrücken, und dann einen kräftigen Bogenstrich führt. In diesem Falle schwingt die Saite nicht mehr als ein Ganzes, sondern sie theilt sich in

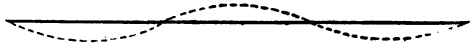
Digitized by Google

gleiche Theile, deren jeder für sich schwingt, und zwar so, daß zwei benachbarte Theile nach entgegen gesetzter Richtung schwingen.

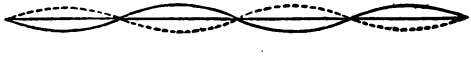
Setzt man in der bezeichneten Weise einen Finger auf die Mitte der Saite, so theilt sich dieselbe in zwei gleiche Theile,



es erklingt daher die Octave des Grundtones. — Setzt man den Finger so auf, daß er ein Drittel der Saite abschneidet, so



theilt sich diese in drei gleiche Theile, der Flageolet-Ton rührt daher von einem Drittel der Saite her und giebt die um eine Octave erhöhte Quinte (die Duodecime) des Grundtones an, z. B. erhält man auf der g-Saite der Violine den Flageolet-Ton $\overline{\overline{d}}$, auf der $\overline{d}$-Saite $\overline{\overline{a}}$ u. s. w. — Wird der Finger an ein Viertel der Saite gelegt, so theilt sich dieselbe in vier gleiche



Theile und man hört den um zwei Octaven höheren Ton, auf der g-Saite also $\overline{\overline{g}}$. Dabei senkt sich der zweite und der vierte Theil der Saite, während der erste und dritte sich erhebt und umgekehrt.

Die Punkte, von denen aus die benachbarten Theile nach entgegen gesetzten Seiten schwingen, also die Endpunkte der gleichen Theile, sind ruhende oder schwingungslose Punkte, und werden Schwingungsknoten genannt. Ihr Vorhandensein kann man durch kleine zusammengekniffene Papierchen zeigen, die man an verschiedenen Stellen der Saite aufsetzt. Bringt man

Digitized by Google

die Saite zum Schwingen, so springen alle Papiersättelchen sogleich ab, nur die auf den Knotenpunkten befindlichen bleiben ruhig sitzen.

Einen besonders angenehmen Klang hat das Flageolet des Violoncello. — Die Aeolsharfe mit 8—12 über einen Resonanzkasten gespannten, in der Regel gleich starken und gleich gestimmten Darmseiten versehen, giebt im Luftzuge vermöge der durch denselben erzeugten mannigfachen Theilung der Saiten sehr verschiedene und oft sehr liebliche Harmonieen.

Die Saiteninstrumente zerfallen in drei Gruppen:

1) solche, deren Saiten mittelst eines Bogens gestrichen werden (Streichinstrumente), von denen die gebräuchlichsten sind: die Violine, die Bratsche (Viola), das Violoncello und der Contrabaß oder Contraviolon;
2) solche, deren Saiten durch den Anschlag von Hämmern in Schwingungen versetzt werden (Tasteninstrumente): das Klavier und das Pianoforte;
3) solche, deren Saiten durch Reißen mit den Fingern zum Tönen gebracht werden: die Harfe und die Guitarre.

§ 84. Tönende Flächen. Klangfiguren.

Gespannte elastische Häute, Scheiben von Glas oder Metall, so wie die Glocken können ebenfalls zur Erzeugung von Tönen dienen.

Bei den Pauken ist eine ausgearbeitete thierische Haut (ein Esels- oder Kalbfell) über einen Kessel von Kupfer (oder Silber) gezogen, und kann vermittelst einer Anzahl von Schrauben mehr oder minder scharf angespannt werden. Sie wird mittelst zweier Schlägel in Schwingungen versetzt, schwingt als ein Ganzes, und muß einen deutlich-bestimmten Ton geben.

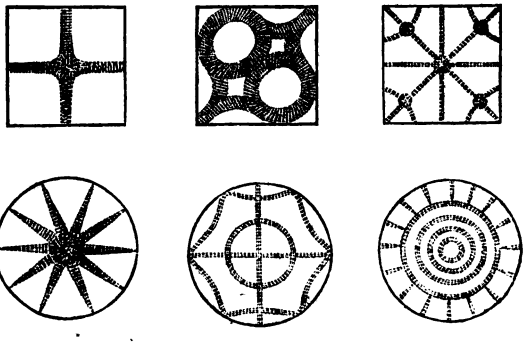
Bei der Trommel sind zwei Kalbfelle über einen Cylinder von Messing gezogen, so daß sie ihn oben und unten verschließen. Ihre Spannung geschieht durch Schnüre. Wird die obere Haut, das Schlagfell, mittelst der Schlägel zum Schwingen gebracht,

Digitized by Google

so schwingt zugleich das unten befindliche Schallfell, so wie eine über dasselbe gespannte Saite. Der Klang gleicht mehr einem Gerassel, als einem klaren Tone, und kann gedämpft werden, indem man die Saite mit einem Tuche umwickelt, so daß sie sammt dem Schallfelle keine bedeutenden Schwingungen machen kann.

Die bei der Militair-Musik üblichen Becken sind von Metall, werden durch gegenseitige Reibung zum Schwingen gebracht, und klirren mehr, als sie tönen.

Sehr interessant sind die Versuche mit Glasscheiben. Man lasse sich einige dergleichen, theils kreisförmige von etwa 4—5 Zoll Durchmesser, theils quadratische von etwa 4 Zoll Seitenlänge, aus gewöhnlichem Fensterglase schneiden, und nehme ihnen an einigen Stellen des Randes mittelst einer scharfen Feile oder mittelst Schmirgelpulver die scharfe Kante, oder schleife sie auf einem Sandsteine ab, damit man sie dort mit einem stark geharzten Violinbogen anstreichen kann, während man sie bald in der Mitte, bald dem Rande näher mittelst zwei Fingern festhält. Zuvor bestreue man sie mit trocknem, feinem aber nicht staubigem Sande. Sobald durch das Anstreichen ein Ton erklingt, ordnet sich der Sand in regelmäßige Figuren, welche um so zusammengesetzter sind, je höher der Ton ist. Die Glastafeln schwingen nämlich nicht im Ganzen, sondern, wie die Saiten bei den Flageolet-Tönen, in einzelnen Theilen, welche durch Knotenlinien getrennt werden, die in Ruhe verbleiben. Der Sand wird von



Digitized by Google

den schwingenden Theilen hinweggeworfen, und sammelt sich an den Knotenlinien. Entsteht, wie dies beim Abgleiten des Bogens der Fall ist, plötzlich ein anderer Ton, so ist auch die Figur augenblicklich eine andere.

Die Zeichnungen veranschaulichen einige solche Klangfiguren, welche man auch nach ihrem Entdecker Chladni die Chladni'schen Figuren nennt.

Daß auch Glocken in einzelnen Abtheilungen schwingen, kann man deutlich sehen, wenn man ein Weinglas mit Wasser füllt, und Bärlappsamen (Hexenmehl, Semen Lycopodii) darauf streut. Erzeugt man durch Anstreichen des oberen Randes mit einem Violinbogen einen reinen Ton, so nimmt man in der Regel zwei sich durchkreuzende Knotenlinien wahr, so daß sich der Rand des Glases in vier gleiche Theile theilt.

Fährt man mit einem benetzten Finger um den Rand eines Wein- oder Bierglases, so entsteht oft ein sehr heller, etwas schneidender Ton. Durch diese Bemerkung wurde der berühmte Benjamin Franklin zu der Erfindung der Glasharmonika geführt, bei welcher eine nach der Tonleiter abgestimmte Anzahl von Glasglocken an einer Walze befestigt ist, die in Umdrehung versetzt wird. Das Anstreichen der Ränder dieser Glocken geschieht mittelst der feuchten Finger oder durch einen besonderen Mechanismus.

§ 85. Die Schwingungen der Luft. Die Blaseinstrumente.

Wenn man einen vermöge seiner Schwingungen tönenden festen Körper, z. B. eine Saite oder eine Glocke mit der Hand berührt, so werden seine Schwingungen theilweise oder ganz gehemmt, daher wird der Ton verändert oder er hört gänzlich auf. Faßt man aber eine Flöte, eine Clarinette, ein Waldhorn oder eine Orgelpfeife mit den Händen an, so bleibt der Ton unverändert (§ 77). Daraus folgt, daß in diesen Fällen nicht die Masse, woraus das Instrument besteht, der schwingende und tönende Körper ist, sondern die in demselben enthaltene Luftsäule. Daher ist der Ton um so tiefer, je länger diese Luftsäule ist,

Digitized by Google

und man kann aus wenig elastischen Stoffen gut tönende Pfeifen und Blaseinstrumente verfertigen, obschon das Eigenthümliche des Klanges durch den Stoff bedingt wird. Eine Trompete von Silber z. B. klingt anders, als eine von Messing.

Die Schwingungen der eingeschlossenen Luftsäule erfolgen nicht, wie bei den Saiten, der Quere, sondern der Länge nach, sie sind also keine Quer- (Transversal-), sondern Längen- (Longitudinal-) Schwingungen, die in schnell auf einander folgenden Verdichtungen und Ausdehnungen bestehen. Mittelst eines Mundstückes wird ein schmaler Luftstrom eingeblasen; derselbe reibt sich an der eingeschlossenen Luftsäule, wie der Violinbogen an der Saite, reißt sie mit sich fort, und bewirkt dadurch ihre Verdichtung, auf welche alsbald eine Ausdehnung und eine neue Verdichtung erfolgt.

Die Höhe des Tones hängt nicht allein von der Länge der Luftsäule, sondern auch von der Stärke des Anblasens ab, so daß man z. B. auf dem gewöhnlichen Waldhorne bei unveränderter Länge der in demselben enthaltenen Luftsäule bloß durch schwächeres oder stärkeres Anblasen die Naturtöne

C — C — G — c — e — g — b — c — d — e — f* — g u. s. w.

erhält.

Behufs des Einblasens einer dünnen Luftschicht haben die verschiedenen Blaseinstrumente eine verschiedene Einrichtung, und können demzufolge in drei Abtheilungen gebracht werden, je nachdem sie ein Mundloch, ein kesselförmig vertieftes und in eine enge Röhre endigendes Mundstück, oder eine einfache oder doppelte elastische Zunge haben.

Zu der ersten Abtheilung der Blaseinstrumente gehören die Flöte und die Lippenpfeifen der Orgel. Der Luftstrom, welchen der Flötenspieler in dieselbe einbläset, spaltet sich an den scharfen Rändern des Mundloches, und nur ein dünner Luftstrahl gelangt in das Innere, um die dort eingeschlossene Luftsäule in Schwingungen zu versetzen. Durch

* Das f ist niemals rein, sondern stets zu hoch.

Digitized by Google

schärferes Anblasen wird hier wie bei allen Blaseinstrumenten ein höherer Ton, gewöhnlich die Octave, erzeugt. Schließt man alle Grifflöcher, so erhält man die längste Luftsäule, mithin den tiefsten Ton; durch das Offenlassen eines oder mehrerer Grifflöcher wird die schwingende Luftsäule verkürzt, und der Ton wird höher. Welche Veränderungen die Luftsäule durch das Oeffnen einzelner Löcher und Klappen erleidet, ist übrigens noch nicht genügend erforscht.

Bei den Lippen- oder Labialpfeifen der Orgel wird mittelst einer als Mundstück dienenden Röhre ein Luftstrom zwischen der Außenwand der Pfeife und dem Kerne hindurchgetrieben, spaltet sich an der oberhalb des Aufschnittes befindlichen einwärts gerichteten Lippe (dem Labium), und ein schmaler Strom geht der Wand entlang in der Pfeife fort. Ist die Pfeife an ihrem oberen Ende geschlossen (gedeckt), so schwingt die Luftsäule als ein Ganzes; in offenen Pfeifen hingegen bildet sich in der Mitte ein Schwingungsknoten, so daß die Luftsäule in zwei Theilen schwingt; daher klingt eine gedeckte Pfeife eine Octave tiefer, als eine offene von gleicher Länge.

Die zweite Abtheilung der Blaseinstrumente umfaßt die Blech- oder Messinginstrumente: das Waldhorn, die Trompete und die Posaune, sammt den verwandten Instrumenten, welche in neuerer Zeit erfunden worden sind. Sie bestehen sämmtlich aus einer Metallröhre, welche behufs bequemerer Handhabung mehrfach gewunden ist, und in einen mehr oder weniger erweiterten Schallbecher endet. Bei einer C-Trompete ist diese Röhre 8, bei einem in C stehenden Waldhorne 16 Fuß lang, weshalb letzteres eine Octave tiefer tönt; bei den Posaunen kann die Röhre durch Ausziehen verlängert werden, bei Hörnern und Trompeten durch Aufsetzen von Bogen. Durch das Mundstück wird ein dünner Luftstrom eingeblasen, der die eingeschlossene Luftsäule zum Schwingen bringt; stärkeres Anblasen erhöht den Ton. — Bei den mit Ventilen versehenen Instrumenten sind besondere Bogenstücke in die Röhre eingesetzt, welche durch die Ventile verschlossen sind; wird ein Ventil geöffnet, so tritt das

Digitized by Google

Einsatzstück in Verbindung mit dem Hauptrohre, dieses wird dadurch verlängert und der Ton wird tiefer.

Die dritte Abtheilung der Blaseinstrumente bilden die sogenannten Rohrinstrumente: Clarinette, Oboe und Fagott, denen sich die Rohrwerke der Orgel anschließen. Bei ihnen schwingt außer dem Luftstrome eine elastische Zunge. Diese besteht bei der Clarinette aus einem einfachen Blatte von Zuckerrohr, welches an den Schnabel des Instrumentes gebunden ist. Oboe und Fagott haben ein Doppelblatt, dessen ausgehöhlte Seiten einander zugekehrt sind. Bei den Rohrwerken der Orgel setzt der Luftstrom eine schmale Metallzunge in schwingende Bewegung, wodurch ein mehr oder minder schnarrender Ton erzeugt wird.* In ähnlicher Weise wird der Ton der Ziehharmonika erzeugt.

§ 86. Die Stimmwerkzeuge des Menschen.

Wenn wir einathmen, so strömt die Luft durch die Luftröhre in die Lunge und füllt deren Zellen. Der obere, bewegliche Theil der Luftröhre, den wir wie einen Knoten (Adamsapfel) am Halse fühlen, und den man den Kehlkopf nennt, besteht aus vier knorpeligen Ringen und enthält zwei elastische Häute, die Stimmbänder, zwischen denen sich die Stimmritze befindet. Spannen wir diese Stimmbänder bei dem Ausathmen an, so werden sie durch die Luft in Schwingungen versetzt, und es entsteht ein Ton, der um so höher ist, je schärfer sie gespannt sind. Bei Frauen und Kindern sind die Stimmbänder kleiner und zarter, daher haben sie eine feinere Stimme, und die Männer singen und sprechen eine Octave tiefer. Beim gewöhnlichen Athmen sind die Stimmbänder schlaff, und es entsteht kein Ton. Die Töne der menschlichen Stimme werden jedoch erst zu Sprach-

* Eine genaue Beschreibung des Baues der Orgelpfeifen überhaupt und der Rohrwerke insbesondere enthält des Verfassers „Vorschule der musikalischen Composition", Langensalza, Schulbuchhandlung, 4te Aufl. 1863.

Digitized by Google

lauten durch den Einfluß der Mundhöhle, der Lippen, der Zunge und der Zähne.*

§ 87. Fragen und Aufgaben zur Wiederholung.

1. Mit welchem allgemeinen Namen bezeichnen wir alles Hörbare?
2. Gieb Wörter an, welche einen Schall mittelst Nachahmung desselben bezeichnen!
3. Wie heißt ein heftiger und dabei rasch vorübergehender Schall?
4. Wie heißt ein mittelst unserer Sprachwerkzeuge erzeugter Schall?
5. Wie entsteht ein Schall?
6. Wie heißt der Schall, wenn die Schwingungen des schallenden Körpers regelmäßig erfolgen?
7. Was ist ein Ton?
8. Wie heißt die Lehre vom Schalle?
9. Was versteht man unter den akustischen Verhältnissen eines Saales oder einer Kirche?
10. Wie gelangt der Eindruck von den Schwingungen eines Körpers an unser Ohr?
11. Welches ist der gewöhnlichste Leiter des Schalles?
12. Ist die atmosphärische Luft der einzige und beste Leiter des Schalles? Wo nicht, so gieb bessere an!
13. Was sind Schallwellen?
14. Was ist ein Schallstrahl?
15. Beschreibe das Gehörorgan des Menschen!
16. Warum öffnen harthörige Menschen den Mund, um besser zu hören?
17. Gieb Beispiele an, denen zufolge auch das Wasser den Schall fortleitet!
18. Wie stark hören wir einen Schall, wenn wir uns von dem Entstehungsorte noch einmal so weit entfernen, als unsere ursprüngliche Entfernung betrug?
19. Warum ist der Schall einer großen Glocke stärker, als der einer kleinen?
20. Warum klingt das Pianoforte (der Flügel) stärker, wenn man kräftiger auf die Tasten schlägt?
21. Wo klingt ein Schuß stärker, auf einem Berge oder in der tiefen Ebene, und warum?
22. Klingen Instrumente in einem kalten oder in einem warmen Zimmer stärker, und warum?

* Ausführlicheres hierüber giebt des Verfassers kleine Sprachlehre, Langensalza, Schulbuchhandlung. 2. Aufl. 1863.

Digitized by Google

23. Hört man die Glocken weiter bei trockener oder bei feuchter Luft, und warum?
24. Was bewirkt der Resonanzboden der musikalischen Instrumente, und worauf beruht sein Einfluß?
25. Worauf gründet sich das Aufsetzen der Dämpfer (Sordinen) auf die Stege der Violinen?
26. Durch welches Mittel schwächt man die Schwingungen der Klaviersaiten?
27. Welchen Einfluß hat frisch gefallener Schnee auf den Klang der Glocken?
28. Gieb Beispiele an, aus denen hervorgeht, daß der Schall zu seiner Fortpflanzung Zeit gebraucht!
29. Welches ist die mittlere Geschwindigkeit des Schalles?
30. Pflanzt kalte oder warme Luft den Schall schneller fort?
31. Pflanzt aber kalte oder warme Luft den Schall stärker fort? (vergl. 22.)
32. Wie weit ist ein Blitz entfernt, wenn zwischen ihm und dem Donner zwölf Secunden (langsame Pulsschläge) vergehen?
33. Ist die Geschwindigkeit des Schalles von der Geschwindigkeit der Schwingungen des schallenden Körpers abhängig?
34. Werden starke oder schwache Töne schneller fortgepflanzt?
35. Welchen Einfluß hat der Wind auf den Schall?
36. Pflanzt die Luft oder ein fester Körper den Schall schneller fort?
37. Wie entsteht das Echo?
38. Wie weit müssen wir von der reflectirenden Wand entfernt sein, wenn wir ein einsilbiges Echo vernehmen sollen? Warum?
39. Wie heißt das Gesetz über den Zurückwerfungswinkel?
40. Wie entsteht der Nachhall in großen geschlossenen Räumen?
41. Was versteht man unter einem mehrsilbigen Echo?
42. Was aber unter einem mehrfachen?
43. Wo sind oder waren berühmte Echo's?
44. Durch welche Werkzeuge oder Vorrichtungen wird der Schall verstärkt?
45. Beschreibe ein Sprachrohr!
46. Beschreibe ein Communicationsrohr!
47. Was nützt ein Hörrohr?
48. Was sind Sprachgewölbe, wie sind sie gebaut?
49. Beschreibe eine Doppelschwingung einer Saite!
50. Welches ist der tiefste musikalische Ton?
51. Wieviel Doppelschwingungen macht er in einer Secunde?
52. Welches ist der höchste musikalische Ton?
53. Wieviel Doppelschwingungen macht er in einer Secunde?
54. Wovon hängt die Schnelligkeit der Schwingungen einer Saite, mithin die Höhe des Tones ab? (Vier Stücke).
55. Wie heißt der Ton einer ungetheilten Saite?

Digitized by Google

56. Welche Intervalle erhält man durch Theilung derselben in einfache Theile ($^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ u. s. w.)?
57. Welchen Ton giebt die Hälfte einer Saite an?
58. Welche Intervalle vereinen sich am innigsten zu einer Harmonie? Warum?
59. Was versteht man in der Musik unter gleichschwebender Temperatur, und wie wird sie hergestellt?
60. Wie kann man es veranlassen, daß eine Saite nicht als ein Ganzes, sondern in einzelnen Theilen schwingt?
61. Wie heißen in diesem Falle die Ruhepunkte?
62. Wie kann man dieselben sichtbar machen?
63. Wie heißen die Töne, welche entstehen, wenn die Saite in einzelnen Theilen schwingt?
64. Wie verhalten sich die Schwingungen benachbarter Theile der Saite zu einander?
65. Beschreibe eine Aeols- oder Windharfe!
66. In welche drei Gruppen zerfallen die gebräuchlichsten Saiten-Instrumente, und welche derselben gehören zu jeder dieser Gruppen?
67. Beschreibe die Pauke und die Trommel!
68. Wie erzeugt man die Chladni'schen Klangfiguren auf Glasscheiben?
69. Wie weiset man die Knotenlinien schwingender Weingläser nach?
70. Beschreibe eine Glas-Harmonika!
71. Wie unterscheiden sich die Schwingungen einer Luftsäule in einem Blase-Instrumente von denen einer Saite?
72. Wovon hängt bei einem Blaseinstrumente die Höhe des Tones ab?
73. Wie kann man beweisen, daß bei Blaseinstrumenten nicht die Materie derselben, sondern die eingeschlossene Luft ist, welche schwingt?
74. Wie folgen die Naturtöne auf einander?
75. Auf welche Weise wird die Luftsäule in einem Blaseinstrumente zum Schwingen gebracht?
76. Was nützen die Grifflöcher mancher Blaseinstrumente?
77. Was bewirkt das Ausziehen der Posaune?
78. Warum wird auf den Ventil-Instrumenten der Ton tiefer, wenn man ein Ventil öffnet?
79. In welche drei Gruppen kann man die Blaseinstrumente eintheilen, und welche Instrumente gehören zu jeder Gruppe?
80. Wie unterscheiden sich die Schwingungen in einer offenen Orgelpfeife von denen in einer gedeckten?
81. Wie lang ist das Rohr einer C-Trompete?
82. Wie lang aber das eines C-Hornes?
83. Welcher Unterschied in Tonhöhe wird dadurch bewirkt?
84. Beschreibe das Stimmorgan des Menschen!

Digitized by Google

Zweiter Abschnitt.
Das Licht.

§ 88. Leuchtende und dunkle Körper.

Wir führen nunmehr unsere Leser auf ein neues Gebiet, indem wir die Lehre von dem Lichte — die Optik — beginnen. Dieser Zweig der Naturlehre bietet viel Schweres dar. Dies soll aber nicht gesagt sein, um den strebsamen Jüngling zurückzuschrecken; es möge ihm vielmehr ein Sporn sein, mit recht frischem, freudigem Muthe an die Arbeit zu gehen, und durch eifriges Studium und vollständige Aneignung des hier Gebotenen sich zu tieferem Eindringen in die Wunder der Schöpfung geschickt zu machen.

Wie das Ohr das Organ zur Empfindung des Hörbaren, des Schalles, so ist das Auge das wunderbare Werkzeug zur Wahrnehmung des Sichtbaren. Was uns aber die Gegenstände sichtbar macht, ist die geheimnißvolle Erscheinung, welche wir Licht nennen.

Die Frage, was das Licht sei, wollen wir uns bis zum Schlusse unserer Betrachtungen versparen; hat doch das Menschengeschlecht Jahrtausende hindurch die Segnungen desselben genossen, ohne sein Wesen erforscht zu haben.

Woher empfangen wir das Licht? — Die Hauptquelle desselben ist für uns Erdenbewohner die mächtige Sonne, und es bleibt für den größten Theil unserer Betrachtungen gleichgültig, ob wir uns dieselbe als ein unerschöpfliches Lichtmeer vorstellen, welches seine Strahlen ohne Aufhören nach allen Richtungen hin durch den Weltraum sendet, oder ob wir annehmen, die Sonne sei in einer andern Weise die Erzeugerin des Lichtes.

Wie die Sonne ein selbst leuchtender Körper ist, so sind es auch die unzählbaren Fixsterne, welche wir in hellen Nächten vom Firmamente herniederstrahlen sehen.

Die Erde dagegen besitzt kein eigenes Licht, sie ist ein dunkler Weltkörper, gleich dem Monde und den Pla-

Digitized by Google

neten, welche ebenfalls nur Licht haben, wenn und so weit sie von der Sonne beschienen werden.

Dennoch bietet die Erde mancherlei leuchtende Körper dar. Vor Allem sind es verbrennende Körper, welche Licht ausstrahlen, und die wir daher zur Erhellung unserer Nächte benutzen, z. B. die Flammen des verbrennenden Talges, Wachses, Oeles und Leuchtgases. Was es heiße: „ein Körper verbrennt", wie im Sauerstoffgase entzündeter Phosphor einen wunderbaren Glanz verbreitet, der aber noch bei Weitem durch das Licht übertroffen wird, welches von einem im Knallgase glühenden Stück Kalk ausgestrahlt wird (Sideral- oder Drummond'sches Kalklicht), dies findet der strebsame Leser in den Lehrbüchern der Chemie* dargelegt.

Wohl einem Jeden bekannt ist, daß die Phosphor-Streichhölzchen im Finstern leuchten, zumal wenn man mit der Hand darüber fährt. Dergleichen Phosphorglanz, bei welchem wir keine Zunahme der Wärme verspüren, hat auch das faulende Holz, und er wird von Johanniswürmchen, so wie von dem surinam'schen Laternenträger und von unzähligen im Meere lebenden Weichthieren ausgestrahlt. Reibt man ein Paar Stückchen Zucker oder ein Paar Kieselsteine im Finstern an einander, so erblickt man gleichfalls einen Lichtschein.

Manche Körper leuchten eine Zeitlang, wenn sie dem Sonnenlichte ausgesetzt gewesen oder geglüht worden sind, und werden daher Lichtsauger, Lichtträger oder Lichtmagnete genannt. Dahin gehören z. B. Diamanten, Eier- und Austerschalen und kalkhaltige Mineralien, vor Allen der bononische Stein, ein bei Bologna häufig vorkommender schwefelsaurer Schwerspath, der, wenn er auch nur wenige Minuten und bei starker Kälte in den Sonnenstrahlen gelegen hat, noch nach mehreren Wochen im Dunkeln leuchtet.

Electrische Erscheinungen, welche wir später betrachten

* Z. B. in der Laien-Chemie so wie in der kleinen Chemie des Verfassers, Langensalza, Schulbuchhandlung.

Digitized by Google

wollen, sind ebenfalls oft mit Licht verbunden; wir dürfen ja nur des Blitzes gedenken.

Die Zahl der selbstleuchtenden Körper ist aber doch im Ganzen sehr gering; die meisten irdischen Körper sind, wenigstens für unser Sehvermögen, dunkel, und wir würden sie gar nicht wahrnehmen, wenn sie nicht von einem leuchtenden Körper Licht empfingen, und dasselbe unseren Augen zusendeten.

Ein Theil dieser dunklen Körper ist in höherem oder geringerem Grade durchsichtig, d. h. sie gestatten dem Lichte mehr oder weniger freien Durchgang, so daß wir die hinter ihnen befindlichen Gegenstände deutlich wahrnehmen können. Zu ihnen gehört helles Glas, klares Wasser, reine Luft u. a. m., doch besitzt keiner derselben vollkommene Durchsichtigkeit, denn auch durch das reinste Wasser vermag man in großer Tiefe keinen Gegenstand mehr zu unterscheiden. Andere Körper lassen kein Licht durch sich hindurch, z. B. die meisten Steine, die Metalle u. s. w.; sie heißen undurchsichtig. Zwischen beiden die Mitte haltend sind die durchscheinenden Körper, z. B. matt geschliffenes Glas, dünnes oder geöltes Papier u. dgl. Sie lassen zwar einen Lichtschimmer durch, aber man kann die hinter ihnen befindlichen Gegenstände nicht deutlich sehen.

Die ganze Lehre von dem Lichte beruht auf folgenden Sätzen

1) Das Licht verbreitet sich in einem und demselben durchsichtigen Körper oder Mittel in geraden Linien.
2) Trifft das Licht auf einen undurchsichtigen Körper, so wird es zurückgeworfen oder erleidet eine Zurückwerfung (Reflexion).
3) Geht das Licht in schiefer Richtung aus einem durchsichtigen Mittel in ein anderes von größerer oder geringerer Dichtigkeit, so wird es von der geraden Linie abgelenkt, es erleidet eine Brechung (Refraction).

Hiernach zerfällt die Lehre von dem Lichte in drei Haupttheile:

Digitized by Google

1) die Lehre von der geradlinigen Verbreitung des Lichtes (**Optik** im engeren Sinne);
2) die Lehre von der Zurückwerfung oder Reflexion des Lichtes (**Katoptrik**) und
3) die Lehre von der Brechung oder Refraction des Lichtes (**Dioptrik**).

Hieran schließt sich:

4) die Betrachtung des menschlichen Auges und der optischen Instrumente;
5) die Lehre von den Farben und
6) die Lehre von der Natur oder dem Wesen des Lichtes.

Nachdem wir in dieser Weise den zu durchlaufenden Weg vorgezeichnet haben, betreten wir die erste Strecke desselben, und betrachten:

I. Die geradlinige Verbreitung des Lichtes (Optik im engeren Sinne).

§ 89. Die geradlinige Bahn des Lichtes.

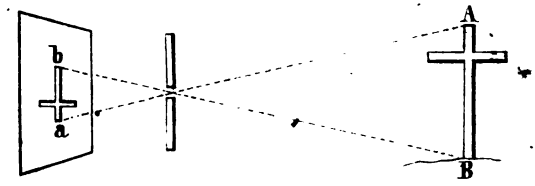
Halten wir zwischen ein brennendes Licht und unser Auge einen undurchsichtigen Körper, z. B. ein Buch oder eine Schiefertafel, so können wir das Licht nicht sehen. Daraus folgt, daß die Bahn des Lichtes eine geradlinige ist. Diese Erfahrung machen wir auch, wenn wir die Fensterläden eines Zimmers schließen, und in einen derselben ein kleines Loch bohren: der Weg, den das durch dasselbe eindringende Licht einschlägt, ist eine gerade Linie. Daher suchen wir auch einen Gegenstand, von welchem unser Auge einen Lichteindruck empfängt, stets in derjenigen Richtung, welche dieser Lichtreiz uns andeutet, und wenn ein Körper den andern unserem Auge verdeckt, so sind wir überzeugt, daß beide in einer geraden Linie liegen. Wir sprechen daher das Naturgesetz aus:

Das Licht verbreitet sich von einem leuchtenden Körper aus in gerader Linie.

Digitized by Google

Die gerade Linie, in welcher die Wirkung des Lichtes von einem leuchtenden Punkte sich fortpflanzt, nennen wir einen Lichtstrahl.

Schließt man die Fensterläden eines Zimmers, und bohrt in einen derselben ein kleines Loch, welchem gegenüber ein hell beleuchteter Gegenstand (z. B. das Kreuz AB) befindlich ist, so



gelangen die von A in gerader Linie kommenden Strahlen nach a, die von B nach b, und man erhält auf einem senkrecht gehaltenen Blatte weißen Papieres oder auf einer gegenüberliegenden weißen Wand ein verkehrtes Bild des Gegenstandes. Bei günstiger Lage bilden sich ganze Häuser, Thürme, Menschen u. s. w. in interessantester Weise ab.

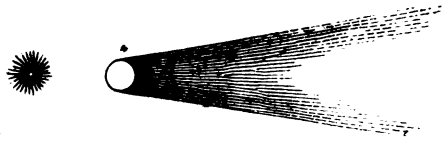
Da ein leuchtender Punkt von allen Seiten gesehen wird, so nehmen wir an, daß sich das Licht von demselben nach allen Richtungen hin in auseinanderfahrenden (divergirenden) Strahlen ausbreite. Von dem leuchtenden Punkte geht demnach eine Strahlenkugel aus. Fängt man einen Theil dieser Strahlen auf einer Fläche, z. B. auf einem Blatte Papier auf, so erhält man einen Strahlenkegel oder eine Strahlenpyramide.

§ 90. Der Schatten.

Wenn auf einen undurchsichtigen Körper Licht fällt, so muß es hinter ihm dunkel sein, weil die Lichtstrahlen vermöge ihrer geradlinigen Richtung dorthin nicht gelangen können. Diesen Raum nennen wir den Schatten des Körpers.

Gäbe es einen leuchtenden Punkt — in der Wirklichkeit existirt ein solcher nicht — so müßte der Schatten einer undurchsichtigen Kugel ein völlig lichtloser Raum sein, und zwar ein

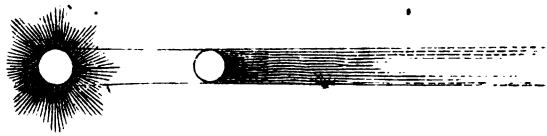
Digitized by Google



abgestumpfter Schattenkegel, welcher, mit zunehmender Entfernung sich erweiternd, bis ins Unendliche hinaus reichte.

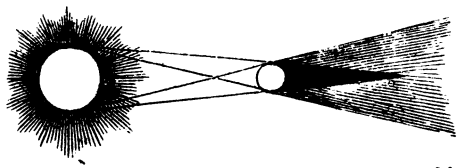
Bei leuchtenden Körpern aber hängt die Größe und Gestalt des Schattens von der Gestalt, Größe und Entfernung des leuchtenden und beleuchteten Körpers ab. Sind beide Körper Kugeln, so können folgende Fälle stattfinden.

a) Die Kugeln sind von gleicher Größe: es entsteht ein unbegrenzter Schattencylinder.



b) Die leuchtende Kugel ist die kleinere: es entsteht ein abgestumpfter Schattenkegel, der mit der Entfernung sich erweitert, und ohne Ende sein würde, wenn nicht auch die ihn begrenzenden Lichtstrahlen, je weiter sie sich von der Lichtquelle entfernen, immer schwächer würden, so daß sie sich endlich von dem Schatten nicht mehr unterscheiden lassen. (Vergl. die oberste Figur.)

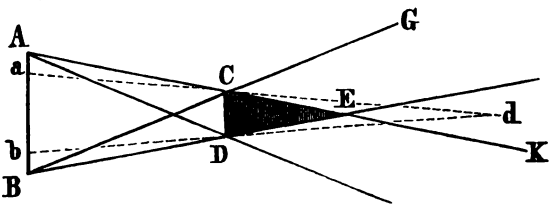
c) Die leuchtende Kugel ist die größere: es entsteht ein völlig dunkler Schattenkegel, dessen Basis an dem dunklen Körper liegt. Außer diesem Kernschatten ent-



Digitized by Google

steht aber auch noch ein Halbschatten, ein Schattenkegel, dessen abgestumpfte Spitze an dem dunklen Körper liegt. Dieser Halbschatten entsteht in demjenigen Raume, welcher von einem Theile des leuchtenden Körpers Lichtstrahlen empfängt, nämlich oberwärts von dem unteren, unterwärts von dem oberen Rande desselben.

Da die Erde und der Mond, so wie die übrigen Planeten und Nebenplaneten dunkle Körper sind, welche ihr Licht von der Sonne empfangen, so werfen sie natürlich auch einen Schatten auf die von der Sonne abgewendete Seite. Tritt nun die Erde einmal zwischen die Sonne und den Mond, so wird letzterer durch den Erdschatten ganz oder theilweise verdunkelt, und es entsteht eine totale oder partiale (theilweise) Mondfinsterniß. Kommt aber der Mond in gerader Linie zwischen Sonne und Erde zu stehen, so haben wir eine Sonnenfinsterniß.



Ist AB der Durchmesser der Sonne, CD der Durchmesser des Mondes, so gelangen in den kegelförmigen Raum des Kernschattens CDE gar keine Sonnenstrahlen, und ein innerhalb dieses Raumes befindliches Auge kann folglich die Sonne gar nicht sehen, würde daher die Erscheinung einer totalen Sonnenfinsterniß haben. Ein innerhalb der Grenzen des Halbschattens zwischen CG und CK befindliches Auge empfängt noch Strahlen von Aa, hat also eine partiale Sonnenfinsterniß. Ein Auge in d nimmt eine ringförmige Sonnenfinsterniß wahr, da ihm der mittlere Theil der Sonnenscheibe ab durch den Mond verdeckt wird, während der Rand (aA und bB) sichtbar bleibt.

Digitized by Google

Wegen der geradlinigen Verbreitung des Lichtes liegt der Schatten stets in gerader Linie mit dem leuchtenden und dem beleuchteten Körper auf der von ersterem abgewendeten Seite. Bewegt sich nun der eine von beiden Körpern, so muß auch der Schatten seine Richtung verändern. Daher fällt unser Schatten so wie der aller um uns her befindlichen Gegenstände am Morgen nach Abend, am Mittage nach Mitternacht, am Abende nach Morgen hin.

Die Bewohner der Polargegenden heißen umschattige, denn weil dort die Sonne eine vollständige Kreisbahn am Horizonte beschreibt, so fällt auch der Schatten innerhalb 24 Stunden rings um den Menschen herum. Diejenigen Menschen, welche gerade unter dem Aequator wohnen, werden unschattig genannt, weil sie am Mittage, wo die Sonne lothrecht über ihren Häuptern steht, gar keinen Schatten werfen. Zwischen dem Aequator und den Wendekreisen wohnen die zweischattigen Menschen, denn dort fällt der Mittagsschatten in sechs Monaten nach Norden und in sechs Monaten nach Süden. Die Bewohner der gemäßigten Zonen aber nennt man einschattig, weil ihr Mittagsschatten das ganze Jahr hindurch nach einer und derselben Himmelsgegend fällt, in der von uns bewohnten nördlichen gemäßigten Zone nach Norden, weil wir die Mittagssonne stets im Süden haben, in der südlichen gemäßigten Zone nach Süden, weil ihre Bewohner die Mittagssonne immer im Norden erblicken.

Je tiefer die Sonne am Morgen und am Abend steht, desto länger sind die Schatten der Gegenstände. So kann man auch mittelst eines Lichtes in einem Zimmer die Schatten verlängern oder verkürzen, je nachdem man es höher oder niedriger stellt.

Mittelst des Schattens kann man die ungefähre Höhe eines auf ebenem Boden senkrecht stehenden Gegenstandes, z. B. eines Thurmes oder Baumes finden, indem man einen Stab daneben senkrecht aufstellt, und nun die Länge der beiderseitigen Schatten vergleicht. So oft die Schattenlänge des Stabes in der des Thurmes oder Baumes enthalten ist, um so viel mal übertrifft

Digitized by Google

der Gegenstand den Stab an Höhe. Wäre z. B. der Schatten des Thurmes 60 Fuß lang, der eines 4 Fuß hohen Stabes nur 2 Fuß, so ist der Thurm $^{60}/_{2} = 30 \times 4 = 120$ Fuß hoch. Dabei darf man nicht übersehen, daß man die Länge des von dem Thurme geworfenen Schattens von einem senkrecht unter der Thurmspitze gelegenen Punkte aus messen muß.

§ 91. Die Stärke des Lichtes.

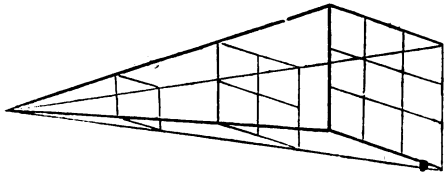
Wenn wir uns an den Winterabenden im häuslichen Kreise mit unserer Arbeit um den Tisch setzen, so sorgen wir zunächst dafür, daß die Lampe möglichst hell brenne, denn die Stärke der Beleuchtung hängt zunächst von der Stärke des Lichts ab. Wer aber gerade einmal eine recht feine Arbeit vorhat, wer z. B. einen Faden einfädeln oder eine besonders kleine Schrift lesen will, der rückt sich die Lampe möglichst nahe. Mithin weiß ein Jeder aus Erfahrung:

Das Licht ist um so schwächer, je weiter der leuchtende Körper entfernt ist.

Die Abnahme ist aber nicht bloß von der Art, daß die Erleuchtung bei der doppelten, drei- oder vierfachen Entfernung auch doppelt, drei- oder viermal so schwach sei; sie beträgt vielmehr bei der doppelten Entfernung das $2 \times 2 =$ Vierfache, bei der dreifachen Entfernung das $3 \times 3 =$ Neunfache, bei der vierfachen Entfernung das $4 \times 4 =$ Sechzehnfache; überhaupt:

Die Stärke (Intensität) der Beleuchtung nimmt ab, wie die Quadrate der Entfernungen zunehmen.

Ganz dasselbe Gesetz haben wir bei der Lehre vom Schalle gehabt. Gleich den Schallstrahlen gehen auch die von einem



Digitized by Google

leuchtenden Punkte kommenden Lichtstrahlen so auseinander, daß jede mittelst einer ebenen Fläche aufgefangene Menge derselben einen Strahlenkegel oder eine Strahlenpyramide bildet, deren Basis die auffangende Fläche ist, und da, wie § 79. erwähnt wurde, die Grundfläche eines Kegels oder einer Pyramide bei doppelter Entfernung von der Spitze 4 mal, bei dreifacher 9 mal so groß ist, so verbreitet sich eine und dieselbe Strahlenmenge bei doppelter Entfernung auf eine viermal so große Fläche, kann dieselbe demnach auch nur $^1/_4$ mal so stark beleuchten u. s. w.

Haben wir eine Lampe in der Entfernung eines Fußes von unserer Arbeit, so wirkt sie soviel als vier gleichstarke Lampen, welche zwei Fuß von uns abstehen, oder als sechzehn um vier Fuß entfernte. Und wenn ein der Sonne an Lichtstärke gleichkommender Fixstern 200,000 mal so weit von unserer Erde entfernt ist, als die Sonne, so müßte uns sein Licht 200,000 × 200,000 = 40,000,000,000 mal so schwach erscheinen als das Sonnenlicht. Die meisten Fixsterne müssen daher ungleich stärkere Lichtquellen sein, als unsere Sonne, da wir sie sonst gar nicht wahrnehmen könnten.

Die Stärke des Lichtes hängt aber nicht allein von der Entfernung des leuchtenden Körpers ab, sondern auch davon, ob die Strahlen senkrecht oder schräg auffallen, denn im ersteren Falle wird die beleuchtete Fläche von weit mehr Strahlen getroffen, als im letzteren. Dies sehen wir sogleich, wenn wir z. B. ein Buch so halten, daß seine Fläche von den Strahlen der Sonne oder einer Lampe rechtwinkelig getroffen wird. Es wirft einen großen Schatten, da es sehr viele Lichtstrahlen auffängt. Je schräger man es hält, desto kleiner wird der Schatten, indem eine immer größere Anzahl von Lichtstrahlen vorbei geht, welche die Fläche nicht mehr treffen. Daraus folgt:

Je spitzer der Winkel ist, unter welchem die Lichtstrahlen eine Fläche treffen, desto schwächer wird dieselbe beleuchtet.

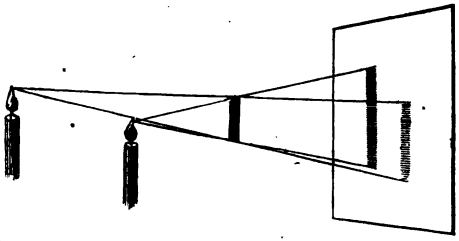
Auch das Mittel, durch welches die Lichtstrahlen hindurchgehen, ist für die Lichtstärke sehr bedeutsam. Sobald Wolken

Digitized by Google

vor die Sonne treten, wird das Licht derselben geschwächt, und durch eine Fensterscheibe, welche nicht vollkommen durchsichtig ist, fällt ein sehr gedämpftes Licht ins Zimmer.

Die Stärke des Lichtes ist um so bedeutender, je durchsichtiger das Mittel ist, durch welche es hindurchgeht.

Um den Grad der Lichtstärke zu untersuchen, besonders aber um die Leuchtkraft zweier Flammen zu vergleichen, hält man ein Stäbchen senkrecht vor die beiden Flammen. Dasselbe wirft



zwei Schatten auf einen weißen Papierschirm, den wir in einiger Entfernung senkrecht aufstellen; und zwar ist der von dem helleren Licht kommende Schatten der dunklere. Man rückt nun das hellere Licht weiter hinweg bis die Schatten einander an Stärke völlig gleich sind. Mußte man es zwei Fuß von der Wand entfernen, während das andere nur einen Fuß absteht, so ist seine Leuchtkraft $2 \times 2 = 4$ mal so groß. Eine solche Vorrichtung zum Messen der Lichtstärke heißt das Rumford'sche Photometer.

§ 92. Die Geschwindigkeit des Lichtes.

Bis zum Jahre 1675 hielt man die Fortpflanzung des Lichtes für augenblicklich, denn alle hierüber auf der Erde angestellten Versuche bewiesen, daß man ein in noch so großer Entfernung aufblitzendes Licht in dem Augenblicke seiner Entstehung wahrnimmt. In dem gemannten Jahre aber fand der dänische Astronom Olof Römer, daß die Geschwindigkeit des Lichtes zwar außerordentlich groß sei, daß dasselbe aber dennoch zu seiner Fortpflanzung Zeit gebrauche. Er

Digitized by Google

beobachtete nämlich die vier Monde des Jupiter. Derjenige von diesen, welcher seinem Hauptplaneten am nächsten steht, wird bei jedem seiner Umläufe einmal verfinstert, und diese Verfinsterung wiederholt sich stets nach 42 Stunden 28 Minuten. Römer bemerkte aber, daß, wenn die Erde auf ihrer Bahn um die Sonne am weitesten vom Jupiter entfernt ist, die Verfinsterung ungefähr 16 Minuten später wahrgenommen wird, als sie der Rechnung nach erfolgen müßte. Da nun der Durchmesser der Erdbahn 42 Millionen Meilen beträgt, so ist die Erde, wenn sie sich in der größten Entfernung vom Jupiter befindet, 42 Millionen Meilen weiter von ihm, als auf dem Standpunkte, auf welchem sie ihm am nächsten steht. Die Verspätung der Erscheinung der Mondfinsterniß — so schloß Römer — kann nur daher rühren, daß das Licht ungefähr 16 Minuten gebraucht, um einen Weg von 42 Millionen Meilen zurückzulegen, was auf eine Secunde ungefähr 42,000 Meilen ausmacht. Wir prägen uns also ein:

Die Geschwindigkeit des Lichtes beträgt 42,000 Meilen in der Secunde,

folglich pflanzt sich das Licht ungefähr eine Million Mal so schnell fort, als der Schall, und seine Fortpflanzung kann bei allen noch so großen Entfernungen auf der Erde als eine augenblickliche angesehen werden.

Da die Erde im Mittel 21 Millionen Meilen von der Sonne entfernt ist, so braucht das Sonnenlicht 8 Minuten und 13 Secunden, um auf der Erde anzulangen. Die Entfernung des nächsten Fixsternes kennen wir zwar nicht, doch beträgt sie aus mathematischen Gründen mindestens 200,000 mal so viel, als die Entfernung der Sonne, mithin gelangt sein Licht erst nach drei Jahren zu uns; von den entferntesten sichtbaren Fixsternen erhalten wir es sicherlich erst nach Jahrhunderten. Wenn also auch alle Fixsterne plötzlich vernichtet würden, so würden wir doch noch Jahre lang den unveränderten Anblick des Sternenhimmels haben, und dann würde in jahrelangen Zwischenräumen ein Stern nach dem andern erlöschen. Wir sehen mithin

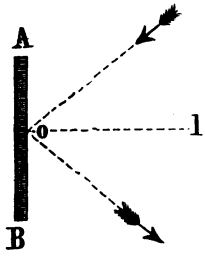
Digitized by Google

am Sternenhimmel nicht, was in dem Augenblicke unserer Betrachtung dort vorgeht, sondern mehr oder weniger lange Vergangenes; nur die Erscheinungen am Monde können, da er nur 50,000 Meilen entfernt ist, schon in der nächsten Secunde von uns wahrgenommen werden.

II. Die Zurückwerfung (Reflexion) des Lichtes oder die Lehre von den Spiegeln (Katoptrik).

§ 93. Das Verhalten der Körper in Beziehung auf die Zurückwerfung des Lichtes.

Schon § 19. lernten wir das Gesetz kennen, daß ein elastischer Körper, welcher an eine unbewegliche Ebene geworfen wird, z. B. ein an die Wand geworfener Gummiball, eine an die Bande des Billardtisches gespielte Elfenbeinkugel, unter einem Winkel zurückspringt, welcher demjenigen gleich ist, unter welchem er angestoßen wurde. Trifft er die Wand A B senkrecht (unter einem rechten Winkel), so wird er in sich selbst zurückgeworfen. Diese die Wand senkrecht treffende Linie 1o heißt das Einfallsloth. Bildet nun die gerade Linie, in welcher der elastische Körper die Wand trifft, einen spitzen Winkel, z. B. einen Winkel von 30 Grad mit dem Einfallslothe, so springt der Körper in einer Linie zurück, welche auf der entgegen gesetzten Seite des Einfallslothes ebenfalls mit diesem einen Winkel von 30 Grad bildet. — Nach § 81. gilt dasselbe Gesetz auch hinsichtlich der Schallstrahlen. — Sollte es nicht auch in Beziehung auf die Lichtstrahlen gültig sein? — —



In einem verdunkelten Zimmer lege man einen kleinen Spiegel auf einen Tisch und stelle ein brennendes Licht daneben. Alsbald erblickt man an irgend einem Punkte der Wand oder der Decke einen lichten Schein, der da anzeigt, welchen Weg die von

Digitized by Google

dem Lichte auf den Spiegel fallenden Strahlen von diesem aus genommen haben. Steht das Licht dem Spiegel nahe, so daß seine Strahlen in einer auf den Spigel senkrecht gedachten Linie — dem Einfallslothe — einen sehr spitzen Winkel bilden, so erscheint das lichte Bild des Spiegels hoch an der Decke, und wir können leicht bemerken, daß die gerade Linie von dem Spiegel zu seinem Bilde einen gleichgroßen Winkel mit dem Einfallslothe bildet. — Entfernen wir das Licht mehr von dem Spiegel, so vergrößern wir den Einfallswinkel, indem die Strahlen jetzt weit schräger auffallen. Sofort verändert auch das Bild seinen Ort, und zeigt sich weiter von dem Einfallslothe entfernt. — Halten wir den Spiegel senkrecht neben die Lichtflamme, so bilden das Bild der Flamme im Spiegel, die Flamme selbst und der helle Schein an der Wand eine gerade Linie. — Zugleich können wir bei jeder Stellung des Lichtes gegen den Spiegel wahrnehmen, daß die gerade Linie von dem leuchtenden Körper zu dem Bilde im Spiegel, die gerade Linie von diesem zu dem Wiederscheine, sowie das Einfallsloth in einer und derselben Ebene liegen, welche auf dem Spiegel senkrecht steht.

Daraus folgen die beiden Hauptgesetze für die Zurückwerfung des Lichtes:

1) **Der Zurückstrahlungs- oder Reflexionswinkel ist immer gleich dem Einfallswinkel.**
2) **Das Einfallsloth, der einfallende und der zurückgeworfene Strahl liegen stets in derselben auf dem Spiegel senkrechten Ebene.**

Der aufmerksame Beobachter wird aber einen Widerspruch zwischen seiner Erfahrung und den so eben aufgestellten Gesetzen zu finden meinen. Er sieht nämlich die Stelle des Spiegels, welche von den Lichtstrahlen getroffen wird, stets erleuchtet, von welcher Seite her er auch in den Spiegel blicken mag, und doch sollen die Strahlen nur in einer einzigen bestimmten Richtung zurückgeworfen werden. Dies kommt daher, daß auch die besten Spiegelflächen voll von Unebenheiten sind, in Folge deren die einfallenden Strahlen nach allen Seiten hin zurückgeworfen werden.

Digitized by Google

Daß die Hauptmasse der Strahlen wirklich in der durch die Spiegelgesetze bezeichneten Richtung zurückgeworfen wird, sieht man besonders deutlich, wenn man in ein Zimmer, dessen Läden geschlossen sind, oder dessen Fenster man mit dicken Vorhängen von Papier bedeckt, nur durch eine feine Oeffnung einen Sonnenstrahl einfallen läßt, den man mittelst eines Spiegels auffängt. Man kann dann den zurückgeworfenen Strahl deutlich sehen. Auch ist es bekannt, daß, wenn man das volle Sonnenbild mit einem Spiegel auffängt, dasselbe nur in einer bestimmten (und zwar in der den Spiegelgesetzen angemessenen) Richtung vollständig zurückgeworfen wird, und ein Auge, welches sich in dieser Richtung befindet, heftig blendet, was mit einem außerhalb dieser Richtung befindlichen Auge nicht der Fall ist.

Uebrigens wirft jeder Körper nur einen Theil des auffallenden Lichtes zurück, indem er einen Theil verschluckt (absorbirt), und, falls er durchsichtig ist, einen andern Theil durchgehen läßt.

Je ebener und glatter eine Fläche ist, desto vollkommener wirft sie die Lichtstrahlen zurück, so daß ein Bild des Körpers entsteht, von welchem sie Lichtstrahlen empfängt. Undurchsichtige Körper, deren Oberfläche nicht polirt, sondern rauh ist, werfen die auffallenden Strahlen nach allen Seiten hin zurück, so daß das Licht zerstreut wird. Mit dieser Zerstreuung des Lichtes ist eine Schwächung desselben verbunden, daher blendet es uns nicht. Nur vermöge des zurückgeworfenen Lichtes können wir die Gegenstände wahrnehmen, ihre Gestalt, Größe und Farbe unterscheiden. So verdeckt uns z. B. ein dichter Rauch die hinter ihm befindlichen Gegenstände, weil die von denselben zurückgeworfenen Lichtstrahlen den Rauch nicht durchdringen, also nicht in unser Auge gelangen können. Einen Körper, welcher gar keine Lichtstrahlen zurückwürfe, könnten wir gar nicht sehen. Ohne die Zurückwerfung des Sonnenlichtes durch die verschiedenen Gegenstände auf der Erde würden wir selbst am hellen Tage nur die von der Sonne unmittelbar beschienenen Dinge sehen; Zimmer, in welche keine

Digitized by Google

directen Sonnenstrahlen fielen, würden völlig finster sein; jede vor die Sonne tretende Wolke würde uns in nächtliche Dunkelheit versetzen.

Auf der Zurückwerfung der Lichtstrahlen beruht auch die Morgen- und Abenddämmerung. Wenn die Sonne am Morgen noch nicht hoch genug steht oder am Abende schon zu tief hinabgesunken ist, um uns ihre Strahlen in gerader Richtung zusenden zu können, treffen doch viele Strahlen die dunsterfüllte Atmosphäre, werden von dieser zurückgeworfen, und verlängern unsern Tag. Je weniger Dünste die Luft enthält, desto geringer ist die Zurückwerfung der Lichtstrahlen, daher hat die heiße Zone eine sehr kurze, die kalte eine sehr lange Dämmerung.

§ 94. Die verschiedenen Arten von Spiegeln.

Jede glatte Fläche erzeugt ein Bild des Gegenstandes, von welchem sie Lichtstrahlen empfängt, und hat demnach die Eigenschaften eines Spiegels in höherem oder geringerem Grade. Daher nennen wir die Oberfläche eines klaren, ruhigen Wassers den Wasserspiegel, die Oberfläche des Quecksilbers den Quecksilberspiegel. Ein blanker Metallknopf, ein polirtes Brett, die Oberfläche einer Flasche, zumal von dunklem Glase, können als Spiegel dienen. Die vollkommensten Spiegel sind die Metallspiegel, sie sind aber sehr theuer und werden leicht unbrauchbar; man bereitet sie gewöhnlich aus einer Mischung (Composition) von Kupfer und Zinn oder von Kupfer, Zinn und Zink. Im gewöhnlichen Leben werden allgemein die Glasspiegel benutzt. Bei diesen bildet die polirte Glastafel die erforderliche glatte Fläche, der dunkle undurchsichtige Hintergrund, mittelst dessen die Zurückwerfung der Lichtstrahlen erfolgt, wird durch die sogenannte Spiegelfolie gebildet. Diese wird auf folgende Weise hergestellt. Auf einen ganz glatten, ringsum mit einem [illegible]ten Rand versehenen Tisch legt man eine Tafel von sehr dünnem Zinnblech (Stanniol), übergießt dieselbe mit Quecksilber und verreibt dasselbe so, daß das Zinn überall davon naß wird. Es bildet sich eine Verbindung von Zinn und

Digitized by Google

Queckſilber, welche man ein Amalgam nennt. Nun legt man die ſorgfältig gereinigte Glastafel darauf, beſchwert dieſelbe mit Gewichten, die unterwärts mit Filz überzogen ſind, und läßt ſie 24 Stunden ruhig liegen. In dieſer Zeit hat ſich das Amalgam überall feſt an die Glastafel gelegt, iſt in dem erforderlichen Grade erhartet, und der Spiegel iſt fertig. Die Glasſpiegel, welche an der Hinterſeite mit Amalgam belegt ſind, haben jedoch den Fehler, daß ſowohl die Vorder- als die Hinterſeite des Glaſes ein Spiegelbild giebt. Man kann dieſes doppelte Bild deutlich ſehen, wenn man eine Lichtflamme ihre Strahlen in ſehr ſchiefer Richtung auf einen Spiegel fallen läßt. Für genaue optiſche Verſuche wendet man daher Glasſcheiben an, deren Rückſeite mit Tuſche geſchwärzt iſt; ſie werfen aber nur wenige Strahlen zurück, und die Bilder haben deshalb nur einen geringen Grad von Helligkeit.

Die Spiegel haben entweder eine ebene Oberfläche, und heißen dann ebene oder Planſpiegel, oder ihre Oberfläche iſt gekrümmt. Zu den gekrümmten Spiegeln gehören die Cylinderſpiegel, durch welche man verzerrte Bilder erhält. Man betrachte z. B. ſein Geſicht in einer dunklen Bierflaſche. Hält man dieſelbe ſenkrecht, ſo erſcheint das Geſicht auf ſeltſame Weiſe in die Länge gezogen; hält man ſie wagrecht, ſo iſt es in die Breite verzerrt. In einem blanken Kännchen von Blech kann man dieſelben Erſcheinungen wahrnehmen. Man kann übrigens beſondere verzerrte Bilder zeichnen, welche in einem ſolchen Spiegel den betreffenden Gegenſtand in ſeiner richtigen Geſtalt zeigen. Weit wichtiger als die Cylinderſpiegel ſind diejenigen Spiegel, welche Kugelabſchnitte bilden. Die innere, hohle Seite eines ſolchen Kugelabſchnittes giebt einen concaven oder Hohlſpiegel; die äußere Seite bildet einen convexen oder erhabenen Spiegel.

Digitized by Google

A. Der Planspiegel.

§ 95. Das Bild in einem Planspiegel.

Wir betrachten zunächst die Erscheinungen, welche ein Planspiegel uns zeigt.

a) Der Spiegel steht senkrecht.

Wir halten einen beliebigen Gegenstand, z. B. ein Messer, vor denselben. Der Spiegel zeigt uns ein Bild des Messers, welches mit diesem gleiche Gestalt, Größe und Richtung hat, und sich ebensoweit hinter dem Spiegel zu befinden scheint, als das Messer vor dem Spiegel. — Halten wir das Messer wagrecht quer vor den Spiegel, so ist das Bild ebenfalls wagrecht und quer, und es liegt abermals so weit hinter dem Spiegel, als das Messer vor demselben. — Geben wir dem wagrecht gehaltenen Messer eine solche Lage, daß seine Spitze den Spiegel berührt, während sein unteres Ende von dem Spiegel abgewendet, und auf uns zugekehrt ist, so liegt auch in dem Bilde die Spitze an dem Spiegel, und das andere Ende ist von demselben abgewendet. — Schräg gehalten, giebt das Messer auch ein schräges Bild, wobei stets der von dem Spiegel am weitesten entfernte Theil des Messers auch im dem Bilde am weitesten entfernt erscheint.

b) Der Spiegel liegt wagrecht.

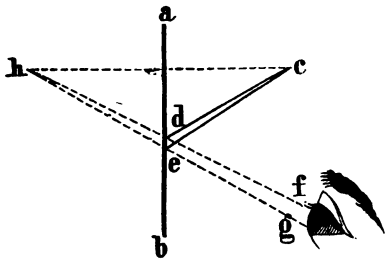
Das mit seinem unteren Ende den Spiegel berührende, senkrecht auf ihn gestellte Messer giebt auch ein senkrechtes Bild; die am weitesten von dem Spiegel entfernte Spitze ist auch im Bilde am weitesten entfernt, daher steht das Bild mit der Spitze nach unten. In dieser Weise sehen wir in einem wagrechten Wasserspiegel die am Ufer befindlichen Gegenstände so abgebildet, daß ihre Spitzen sich in der Tiefe darstellen.

c) Der Spiegel hängt schräg, so daß er einen Winkel von 45 Graden mit dem Horizont bildet. Das wagrecht vor ihn gehaltene Messer giebt ein senk-

Digitized by Google

rechtes, das senkrecht gehaltene ein wagrechtes Bild. Eine wagrecht auf ihn zu gerollte Kugel scheint senkrecht aufwärts, eine von ihm wagrecht hinwegrollende Kugel aber scheint senkrecht abwärts zu rollen.

Zur Erklärung der besprochenen Erscheinungen richten wir unsere Aufmerksamkeit auf die nebenstehende Figur. a b sei der Spiegel, c ein leuchtender Punkt. Von diesem fallen unzählige Lichtstrahlen auf den Spiegel, unter anderen auch c d und c e. Nach dem Zurückwerfungsgesetze (§ 93) wird der Strahl c d in der Richtung d f, der Strahl c e in der Richtung e g zurückgeworfen. Nun sucht aber unser Auge jeden Gegenstand in der Richtung, von welcher es die Strahlen empfängt. Die beiden zurückgeworfenen Strahlen d f und e g scheinen aus demjenigen Punkte herzukommen, in welchem sie zusammentreffen würden, wenn man sie hinter dem Spiegel verlängert, also von h. Dieser Punkt liegt aber genau so weit hinter dem Spiegel, als der leuchtende Punkt c vor demselben, und man kann ihn sofort bestimmen, wenn man von c eine senkrechte Linie auf den (nöthigen Falls verlängert gedachten) Spiegel zieht, und dieselbe hinter dem Spiegel um ihre eigene Länge verlängert. Mithin sieht das Auge den Punkt c in h abgebildet. — Ein ganzer Gegenstand aber besteht aus einer unzähligen Menge von Punkten, deren jeder sich in derselben Weise darstellt, wie der besprochene Punkt c. Daraus folgt:



In einem ebenen Spiegel hat das Bild gleiche Gestalt und Größe mit dem abgebildeten Gegenstande, und liegt so weit hinter dem Spiegel als dieser sich vor demselben befindet.

Wir haben aber unsere Aufmerksamkeit noch auf eine eigenthümliche Erscheinung zu richten. Stellen wir uns vor den senk-

Digitized by Google

recht hängenden Spiegel, indem wir das bei den vorigen Versuchen angewendete Messer in der rechten Hand halten, so hält das Spiegelbild dasselbe in der linken Hand und umgekehrt. Ziehen wir auf einem Blatte Papier eine Linie von rechts oben nach links unten, so erscheint sie in dem Spiegelbilde von links oben nach rechts unten.

In dem Spiegelbilde findet eine Vertauschung von Rechts und Links statt.

Daher kann man gewöhnliche Schreib- oder Druckschrift im Spiegel nicht lesen, wohl aber erscheint die Inschrift eines Petschafts oder ein Letternsatz im Spiegel wie in einem Abdrucke richtig, und wenn man etwas in sogenannter Spiegelschrift — d. h. so daß sie im Spiegelbilde lesbar ist — schreibt, so muß man von der Rechten zur Linken schreiben und die Aufstriche von rechts unten nach links oben, die Abstriche von links oben nach rechts unten machen.

§ 96. Verbundene Planspiegel.

Eigenthümliche Erscheinungen nehmen wir wahr, wenn wir mehrere Spiegel zusammenstellen.

Werden zwei Spiegel parallel aufgestellt, und es wird ein brennendes Licht zwischen beide gebracht, so entsteht zunächst in jedem derselben in bekannter Weise ein Bild, welches so weit hinter dem Spiegel zu liegen scheint, als die Entfernung des Lichtes von demselben beträgt. Jeder Spiegel mit seinem Bilde wird aber für den gegenüberstehenden Spiegel wieder zu einem Gegenstande, den derselbe abspiegelt, und zwar wird das zweite Bild so weit hinter jedem Spiegel liegen, als das erste vor ihm, die zweiten Bilder sind demnach weiter entfernt, als die ersten. Indem diese zweiten Bilder sich wiederum abspiegeln, entstehen die dritten noch entfernter liegenden Bilder u. s. w. Es würden auf diese Weise unzählige Bilder entstehen, wenn nicht dieselben immer schwächer würden, weil stets nur ein Theil der Lichtstrahlen zurückgeworfen wird; daher sieht man gewöhnlich nur 6—8 Bilder deutlich. Einen prachtvollen Eindruck

Digitized by Google

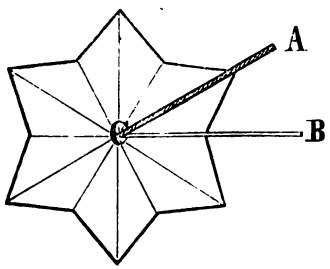
gewähren Zimmer, deren Wände ganz mit Spiegelglas bedeckt sind, zumal bei glänzender Beleuchtung.

Stellt man zwei Spiegel unter einem Winkel zusammen, so erhält man so viele Bilder, als die Zahl der Grade des Winkels in 360 enthalten ist weniger eins; je spitzer also der Winkel ist, desto größer ist die Zahl der Bilder, die zusammen mit dem wirklichen Gegenstande eine kreisförmige Figur bilden. Man verabsäume nicht, die hierher gehörigen interessanten Versuche anzustellen. Es genügen dazu zwei Glasstreifchen von einem Zoll Breite und 4 bis 6 Zoll Länge, die man auf der Hinterseite mit Ruß oder Tusche schwärzt. Bequem ist es, wenn man dieselben an zwei langen Kanten mit einem Streifen Papier zusammenklebt, so daß man sie wie ein Buch beliebig weit öffnen kann. Stellt man sie nun senkrecht auf den Tisch und legt kleine Gegenstände, z. B. Papierschnitzel von verschiedener Gestalt, eine Erbse oder Glasperle u. s. w. zwischen sie, so erhält man niedliche Figuren.

§ 97. Einige auf dem Planspiegel beruhende Instrumente.

1. Das Kaleidoscop oder der Schöngucker.

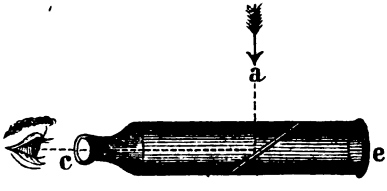
Bringt man die soeben besprochenen Winkelspiegel in eine Röhre von Pappe oder Holz, welche vorn eine enge Oeffnung zum Hineinsehen hat, hinten aber mit einer aus zwei Glasscheiben gebildeten Kapsel versehen ist, in welcher sich allerlei glänzende Kleinigkeiten befinden, so erscheint eine symmetrische Figur, die sich bei jedem Schütteln oder Umdrehen der Röhre anders gestaltet, und für Kattundruckerei u. s. w. brauchbare Muster giebt. Die äußere Glasscheibe ist matt geschliffen, damit sie zwar Licht einfallen läßt, aber das Entstehen von Bildern der außer-



Digitized by Google

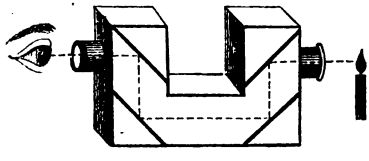
halb des Werkzeuges befindlichen Gegenstände verhindert. Das Instrument, welches oft als Spielerei für Kinder feilgeboten wird, heißt das Kaleidoscop. Gewöhnlich sind die Spiegel unter einem Winkel von 60 Grad zusammengestellt, so daß man jeden Gegenstand sechsmal sieht. Die Figur auf S. 226 zeigt zwei unter einem Winkel von 30^0 verbundene Spiegel (AC und BC); ein zwischen dieselben gelegtes Dreieck bildet den dargestellten Stern.

2. Der Opernglucker oder das Polemoscop.



Eine Röhre mit enger Oeffnung zum Hineinsehen hat an einer Seite ein Loch, hinter welchem ein kleiner Spiegel mit einer Neigung von 45 Grad befestigt ist. Während man das Instrument in der Richtung ce vor das Auge hält, erblickt man die in a befindlichen Gegenstände; man kann also Objecte betrachten, ohne daß man nach ihnen hinsieht.

3. Das Zauberperspectiv.



Eine zweimal rechtwinkelig gebogene Röhre enthält vier unter Winkeln von 45 Grad geneigte Spiegel.

Man kann mittelst dieser Vorrichtung scheinbar durch eine Hand oder ein Brett sehen. Der Weg des Lichts ist aus der Figur klar ersichtlich.

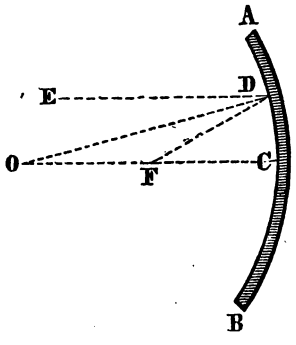
B. Der Hohlspiegel.

§ 98. Die Beschaffenheit eines Hohlspiegels.

Einen Hohlspiegel kann man sich als ein Uhrglas vorstellen, dessen innere Höhlung als Spiegelfläche dient, dessen äußere,

Digitized by Google

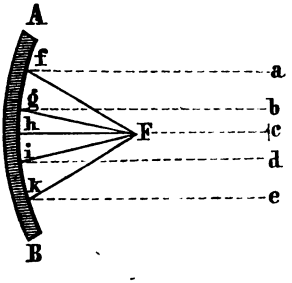
erhabene Fläche also mit Amalgam belegt oder wenigstens mit Tusche geschwärzt ist; ja man kann in Ermangelung eines besseren Hohlspiegels die folgenden Versuche wirklich mit einem solchen Uhrglase anstellen, besonders wenn dasselbe recht flach, mithin ein Abschnitt von einer recht großen Kugel ist. Den Mittelpunkt des Spiegels AB nennt man das optische Centrum (C), den Mittelpunkt der Kugel, von welcher der Spiegel ein Abschnitt ist, das geometrische Centrum (O), die gerade Linie (CO), welche diese beiden Punkte verbindet, heißt die Axe des Hohlspiegels.



Die bei dem Planspiegel aufgestellten Brechungsgesetze gelten auch für den Hohlspiegel. Unter dem Einfallslothe versteht man hier jeden die Spiegelfläche treffenden Lichtstrahl, der in seiner Verlängerung durch den geometrischen Mittelpunkt geht, z. B. OD. Ein in dieser Richtung auffallender Strahl wird in sich selbst zurückgeworfen.

§ 99. Der Brennpunkt (Fokus) des Hohlspiegels.

Fängt man mittelst eines Hohlspiegels die Sonnenstrahlen auf, so daß sie ihn in der Richtung seiner Axe oder parallel mit derselben treffen, z. B. af, bg u. s. w., so werden sie dergestalt zurückgeworfen, daß sie sich in Einem Punkte (F) vereinigen. Diesen Punkt findet man, wenn man ein Blatt Papier zwischen den Spiegel und die Sonne bringt, und dasselbe so lange hin und her bewegt, bis das Sonnenbild als ein möglichst kleiner hell erleuchteter



Digitized by Google

Kreis erscheint; er liegt fast in der Mitte zwischen dem optischen und geometrischen Centrum. Bei einem größeren Hohlspiegel erzeugen die zusammentreffenden Strahlen eine solche Hitze, daß das Papier in Brand gesetzt wird. Noch leichter kommt Feuerschwamm zum Brennen. Aus diesem Grunde heißt der betreffende Punkt der Brennpunkt (Fokus), und seine Entfernung von dem Mittelpunkte des Spiegels wird die Brennweite genannt. Wir prägen uns als erstes Gesetz für den Hohlspiegel ein:

Alle mit der Axe parallel einfallenden Strahlen wirft der Hohlspiegel in seinen Brennpunkt zurück.

§ 100. Der Hohlspiegel als Brennspiegel.

Aus dem Vorstehenden ergiebt sich, daß man den Hohlspiegel zur Erzeugung einer großen Hitze benutzen kann. Ein Hohlspiegel von 4 Fuß Durchmesser und 6 Fuß Brennweite erregt eine Hitze, welche die unmittelbare Einwirkung der Sonnenstrahlen beinahe 5000 mal an Stärke übertrifft. Mit solchen Brennspiegeln kann man Erde verglasen, Metalle schmelzen, entfernte Schiffe und Häuser in Brand setzen. Man kann übrigens auch eine große Menge kleiner Planspiegel so zusammenstellen, daß sie in ihrer Vereinigung eine Wölbung bilden, welche der eines Hohlspiegels ziemlich gleich kommt. Wahrscheinlich waren die Spiegel, mit denen der griechische Mathematiker Archimedes 212 v. Chr. die vor Syrakus liegende römische Flotte vernichtete, von solcher Art.

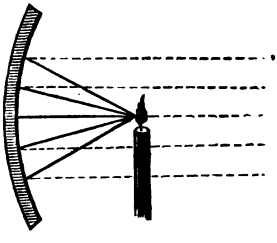
Hohlspiegel, welche Kugelabschnitte bilden, werfen jedoch nur diejenigen Strahlen genau in den Brennpunkt zurück, welche nicht allein mit der Axe parallel, sondern auch dieser sehr nahe einfallen. Die entfernteren werden um den Brennpunkt herum zurückgeworfen, so daß ihre Vereinigung nicht einen wirklichen Punkt, sondern einen größeren oder kleineren Brennraum bildet, wodurch natürlich auch die Wirkung geschwächt wird; daher erscheint uns auch das aufgefangene Sonnenbild nicht als ein Punkt, sondern als ein kleiner Kreis. Man kann aber auch Brennspiegel — doch mit weit größerer Schwierigkeit — so

Digitized by Google

schleifen, daß die mit der Axe parallel aufgefallenen Strahlen wirklich genau in den Brennpunkt fallen (*parabolische Spiegel*).

§ 101. Der Hohlspiegel als Erleuchtungsspiegel.

Wenn die mit der Axe des Hohlspiegels parallel auffallenden Lichtstrahlen in den Brennpunkt zurückgeworfen werden, so müssen umgekehrt die aus dem Brennpunkte auf den Spiegel fallenden Strahlen parallel mit der Axe zurückgeworfen werden. Steht demnach eine Lichtflamme im Brennpunkte eines Hohlspiegels, so sieht man diesen von einem glänzenden Lichtscheine erhellt, und die von ihm zurückgeworfenen Strahlen verstärken die Beleuchtung bedeutend. Daher versieht man Straßen- und Flurlaternen, Wandleuchter, das Licht der Leuchtthürme u. dgl. mit hohlspiegelartigen Blenden von glänzendem Metall.



§ 102. Die mittelst des Hohlspiegels entstehenden Bilder überhaupt.

Die Beschaffenheit der mittelst eines Hohlspiegels erzeugten Bilder lernt man am leichtesten kennen, wenn man die folgenden Versuche in einem finstern Zimmer anstellt, und als zu betrachtenden Gegenstand eine helle Lichtflamme wählt.

1) Man stelle das brennende Licht dicht vor den Spiegel: man erblickt ein aufrechtes vergrößertes Bild desselben, welches immer größer wird, wenn man das Licht langsam vom Spiegel entfernt. Dieses Bild liegt — wie bei dem Planspiegel — hinter dem Spiegel.
2) Hat man das Licht so weit entfernt, daß es gerade im Brennpunkte steht, so sieht man gar kein Bild; der Spiegel ist von hellem Glanze erfüllt (§ 101).

Digitized by Google

3) Man entfernt das Licht um ein Geringes weiter, so daß es zwischen dem Brennpunkte und dem geometrischen Centrum steht: es erscheint ein vergrößertes verkehrtes Bild. Dieses Bild liegt aber nicht hinter dem Spiegel, sondern vor demselben, und zwar weiter entfernt, als die Flamme. Es ist auch nicht bloß — wie ein Bild in einem Planspiegel oder wie das bei dem Versuche 1. erschienene Bild im Hohlspiegel — in der Einbildung des Beschauers vorhanden, sondern es schwebt wirklich in der Luft, und man kann es mittelst eines Blattes Papier auffangen, welches man so hält, daß das Licht zwischen Spiegel und Papier steht. Es erscheint dann auf dem Papiere, als wäre es auf dasselbe gemalt, und kann von jedem Standpunkte aus wahrgenommen werden.

4) Man stelle das Licht in das geometrische Centrum: es ist kein Bild vorhanden, denn es fällt mit dem Lichte selbst zusammen.

5) Man entfernt das Licht weiter vom Spiegel, so daß es noch außerhalb des geometrischen Centrums steht: es erscheint ein verkleinertes, verkehrtes Bild, welwelches, wie bei Versuch 3. wirklich in der Luft schwebt, aber zwischen Spiegel und Licht, in der Nähe des Brennpunktes, so daß man es dort mittelst eines zwischen Spiegel und Licht gehaltenen durchscheinenden Blattes Papier auffangen kann. Der letztgenannte Versuch läßt sich auch sehr schön bei vollem Tageslichte anstellen. Fängt man nämlich die von einem entfernten Gegenstande, von einem Thurme, Hause, Baume u. dgl. kommenden Lichtstrahlen auf, so erblickt man auf einem zwischen den Spiegel und diesen Gegenstand gehaltenen durchscheinenden (z. B. geölten) Papierblatte ein reizendes, im vollen Farbenschmucke prangendes, verkehrtes Bild.

Wir haben im Vorstehenden hauptsächlich zweierlei mittelst des Hohlspiegels erzeugte Bilder kennen gelernt, und zwar zunächst bei Versuch 1. ein solches, wie uns auch der Planspiegel

Digitized by Google

Queckſilber, welche man ein Amalgam nennt. Nun legt man die ſorgfältig gereinigte Glastafel darauf, beſchwert dieſelbe mit Gewichten, die unterwärts mit Filz überzogen ſind, und läßt ſie 24 Stunden ruhig liegen. In dieſer Zeit hat ſich das Amalgam überall feſt an die Glastafel gelegt, iſt in dem erforderlichen Grade erhartet, und der Spiegel iſt fertig. Die Glasſpiegel, welche an der Hinterſeite mit Amalgam belegt ſind, haben jedoch den Fehler, daß ſowohl die Vorder- als die Hinterſeite des Glaſes ein Spiegelbild giebt. Man kann dieſes doppelte Bild deutlich ſehen, wenn man eine Lichtflamme ihre Strahlen in ſehr ſchiefer Richtung auf einen Spiegel fallen läßt. Für genaue optiſche Verſuche wendet man daher Glasſcheiben an, deren Rückſeite mit Tuſche geſchwärzt iſt; ſie werfen aber nur wenige Strahlen zurück, und die Bilder haben deshalb nur einen geringen Grad von Helligkeit.

Die Spiegel haben entweder eine ebene Oberfläche, und heißen dann ebene oder Planſpiegel, oder ihre Oberfläche iſt gekrümmt. Zu den gekrümmten Spiegeln gehören die Cylinderſpiegel, durch welche man verzerrte Bilder erhält. Man betrachte z. B. ſein Geſicht in einer dunklen Bierflaſche. Hält man dieſelbe ſenkrecht, ſo erſcheint das Geſicht auf ſeltſame Weiſe in die Länge gezogen; hält man ſie wagrecht, ſo iſt es in die Breite verzerrt. In einem blanken Kännchen von Blech kann man dieſelben Erſcheinungen wahrnehmen. Man kann übrigens beſondere verzerrte Bilder zeichnen, welche in einem ſolchen Spiegel den betreffenden Gegenſtand in ſeiner richtigen Geſtalt zeigen. Weit wichtiger als die Cylinderſpiegel ſind diejenigen Spiegel, welche Kugelabſchnitte bilden. Die innere, hohle Seite eines ſolchen Kugelabſchnittes giebt einen concaven oder Hohlſpiegel; die äußere Seite bildet einen convexen oder erhabenen Spiegel.

Digitized by Google

A. Der Planspiegel.

§ 95. Das Bild in einem Planspiegel.

Wir betrachten zunächst die Erscheinungen, welche ein Planspiegel uns zeigt.

a) Der Spiegel steht senkrecht.

Wir halten einen beliebigen Gegenstand, z. B. ein Messer, vor denselben. Der Spiegel zeigt uns ein Bild des Messers, welches mit diesem gleiche Gestalt, Größe und Richtung hat, und sich ebensoweit hinter dem Spiegel zu befinden scheint, als das Messer vor dem Spiegel. — Halten wir das Messer wagrecht quer vor den Spiegel, so ist das Bild ebenfalls wagrecht und quer, und es liegt abermals so weit hinter dem Spiegel, als das Messer vor demselben. — Geben wir dem wagrecht gehaltenen Messer eine solche Lage, daß seine Spitze den Spiegel berührt, während sein unteres Ende von dem Spiegel abgewendet, und auf uns zugekehrt ist, so liegt auch in dem Bilde die Spitze an dem Spiegel, und das andere Ende ist von demselben abgewendet. — Schräg gehalten, giebt das Messer auch ein schräges Bild, wobei stets der von dem Spiegel am weitesten entfernte Theil des Messers auch im dem Bilde am weitesten entfernt erscheint.

b) Der Spiegel liegt wagrecht.

Das mit seinem unteren Ende den Spiegel berührende, senkrecht auf ihn gestellte Messer giebt auch ein senkrechtes Bild; die am weitesten von dem Spiegel entfernte Spitze ist auch im Bilde am weitesten entfernt, daher steht das Bild mit der Spitze nach unten. In dieser Weise sehen wir in einem wagrechten Wasserspiegel die am Ufer befindlichen Gegenstände so abgebildet, daß ihre Spitzen sich in der Tiefe darstellen.

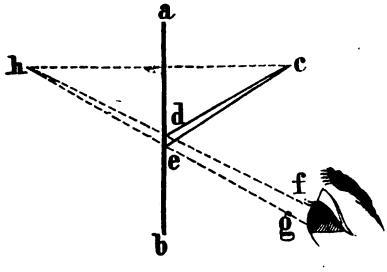
c) Der Spiegel hängt schräg, so daß er einen Winkel von 45 Graden mit dem Horizont bildet.

Das wagrecht vor ihn gehaltene Messer giebt ein senk-

Digitized by Google

rechtes, das senkrecht gehaltene ein wagrechtes Bild. Eine wagrecht auf ihn zu gerollte Kugel scheint senkrecht aufwärts, eine von ihm wagrecht hinwegrollende Kugel aber scheint senkrecht abwärts zu rollen.

Zur Erklärung der besprochenen Erscheinungen richten wir unsere Aufmerksamkeit auf die nebenstehende Figur. a b sei der Spiegel, c ein leuchtender Punkt. Von diesem fallen unzählige Lichtstrahlen auf den Spiegel, unter anderen auch c d und c e. Nach dem Zurückwerfungsgesetze (§ 93) wird der Strahl c d in der Richtung d f, der Strahl c e in der Richtung e g zurückgeworfen. Nun sucht aber unser Auge jeden Gegenstand in der Richtung, von welcher es die Strahlen empfängt. Die beiden zurückgeworfenen Strahlen d f und e g scheinen aus demjenigen Punkte herzukommen, in welchem sie zusammentreffen würden, wenn man sie hinter dem Spiegel verlängert, also von h. Dieser Punkt liegt aber genau so weit hinter dem Spiegel, als der leuchtende Punkt c vor demselben, und man kann ihn sofort bestimmen, wenn man von c eine senkrechte Linie auf den (nöthigen Falls verlängert gedachten) Spiegel zieht, und dieselbe hinter dem Spiegel um ihre eigene Länge verlängert. Mithin sieht das Auge den Punkt c in h abgebildet. — Ein ganzer Gegenstand aber besteht aus einer unzähligen Menge von Punkten, deren jeder sich in derselben Weise darstellt, wie der besprochene Punkt c. Daraus folgt:



In einem ebenen Spiegel hat das Bild gleiche Gestalt und Größe mit dem abgebildeten Gegenstande, und liegt so weit hinter dem Spiegel als dieser sich vor demselben befindet.

Wir haben aber unsere Aufmerksamkeit noch auf eine eigenthümliche Erscheinung zu richten. Stellen wir uns vor den senk-

Digitized by Google

recht hängenden Spiegel, indem wir das bei den vorigen Versuchen angewendete Messer in der rechten Hand halten, so hält das Spiegelbild dasselbe in der linken Hand und umgekehrt. Ziehen wir auf einem Blatte Papier eine Linie von rechts oben nach links unten, so erscheint sie in dem Spiegelbilde von links oben nach rechts unten.

In dem Spiegelbilde findet eine Vertauschung von Rechts und Links statt.

Daher kann man gewöhnliche Schreib- oder Druckschrift im Spiegel nicht lesen, wohl aber erscheint die Inschrift eines Petschafts oder ein Letternsatz im Spiegel wie in einem Abdrucke richtig, und wenn man etwas in sogenannter Spiegelschrift — d. h. so daß sie im Spiegelbilde lesbar ist — schreibt, so muß man von der Rechten zur Linken schreiben und die Aufstriche von rechts unten nach links oben, die Abstriche von links oben nach rechts unten machen.

§ 96. Verbundene Planspiegel.

Eigenthümliche Erscheinungen nehmen wir wahr, wenn wir mehrere Spiegel zusammenstellen.

Werden zwei Spiegel parallel aufgestellt, und es wird ein brennendes Licht zwischen beide gebracht, so entsteht zunächst in jedem derselben in bekannter Weise ein Bild, welches so weit hinter dem Spiegel zu liegen scheint, als die Entfernung des Lichtes von demselben beträgt. Jeder Spiegel mit seinem Bilde wird aber für den gegenüberstehenden Spiegel wieder zu einem Gegenstande, den derselbe abspiegelt, und zwar wird das zweite Bild so weit hinter jedem Spiegel liegen, als das erste vor ihm, die zweiten Bilder sind demnach weiter entfernt, als die ersten. Indem diese zweiten Bilder sich wiederum abspiegeln, entstehen die dritten noch entfernter liegenden Bilder u. s. w. Es würden auf diese Weise unzählige Bilder entstehen, wenn nicht dieselben immer schwächer würden, weil stets nur ein Theil der Lichtstrahlen zurückgeworfen wird; daher sieht man gewöhnlich nur 6—8 Bilder deutlich. Einen prachtvollen Eindruck

Digitized by Google

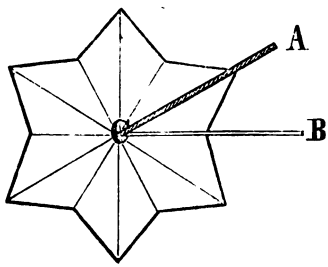
gewähren Zimmer, deren Wände ganz mit Spiegelglas bedeckt sind, zumal bei glänzender Beleuchtung.

Stellt man zwei Spiegel unter einem Winkel zusammen, so erhält man so viele Bilder, als die Zahl der Grade des Winkels in 360 enthalten ist weniger eins; je spitzer also der Winkel ist, desto größer ist die Zahl der Bilder, die zusammen mit dem wirklichen Gegenstande eine kreisförmige Figur bilden. Man verabsäume nicht, die hierher gehörigen interessanten Versuche anzustellen. Es genügen dazu zwei Glasstreifchen von einem Zoll Breite und 4 bis 6 Zoll Länge, die man auf der Hinterseite mit Ruß oder Tusche schwärzt. Bequem ist es, wenn man dieselben an zwei langen Kanten mit einem Streifen Papier zusammenklebt, so daß man sie wie ein Buch beliebig weit öffnen kann. Stellt man sie nun senkrecht auf den Tisch und legt kleine Gegenstände, z. B. Papierschnitzel von verschiedener Gestalt, eine Erbse oder Glasperle u. s. w. zwischen sie, so erhält man niedliche Figuren.

§ 97. Einige auf dem Planspiegel beruhende Instrumente.

1. Das Kaleidoscop oder der Schöngucker.

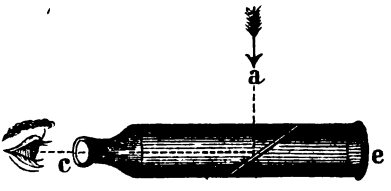
Bringt man die soeben besprochenen Winkelspiegel in eine Röhre von Pappe oder Holz, welche vorn eine enge Oeffnung zum Hineinsehen hat, hinten aber mit einer aus zwei Glasscheiben gebildeten Kapsel versehen ist, in welcher sich allerlei glänzende Kleinigkeiten befinden, so erscheint eine symmetrische Figur, die sich bei jedem Schütteln oder Umdrehen der Röhre anders gestaltet, und für Kattundruckerei u. s. w. brauchbare Muster giebt. Die äußere Glasscheibe ist matt geschliffen, damit sie zwar Licht einfallen läßt, aber das Entstehen von Bildern der äußer-



Digitized by Google

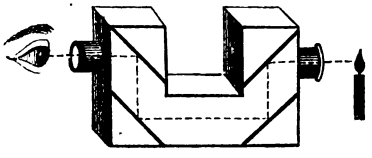
halb des Werkzeuges befindlichen Gegenstände verhindert. Das Instrument, welches oft als Spielerei für Kinder feilgeboten wird, heißt das Kaleidoscop. Gewöhnlich sind die Spiegel unter einem Winkel von 60 Grad zusammengestellt, so daß man jeden Gegenstand sechsmal sieht. Die Figur auf S. 226 zeigt zwei unter einem Winkel von 30^0 verbundene Spiegel (AC und BC); ein zwischen dieselben gelegtes Dreieck bildet den dargestellten Stern.

2. Der Opernguckeroder das Polemoscop.



Eine Röhre mit enger Oeffnung zum Hineinsehen hat an einer Seite ein Loch, hinter welchem ein kleiner Spiegel mit einer Neigung von 45 Grad befestigt ist. Während man das Instrument in der Richtung ce vor das Auge hält, erblickt man die in a befindlichen Gegenstände; man kann also Objecte betrachten, ohne daß man nach ihnen hinsieht.

3. Das Zauberperspectiv.



Eine zweimal rechtwinkelig gebogene Röhre enthält vier unter Winkeln von 45 Grad geneigte Spiegel.

Man kann mittelst dieser Vorrichtung scheinbar durch eine Hand oder ein Brett sehen. Der Weg des Lichts ist aus der Figur klar ersichtlich.

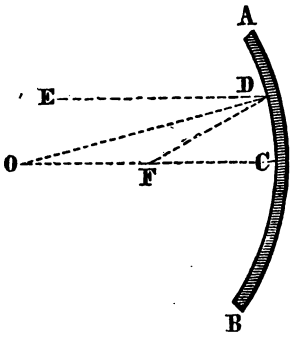
B. Der Hohlspiegel.

§ 98. Die Beschaffenheit eines Hohlspiegels.

Einen Hohlspiegel kann man sich als ein Uhrglas vorstellen, dessen innere Höhlung als Spiegelfläche dient, dessen äußere,

Digitized by Google

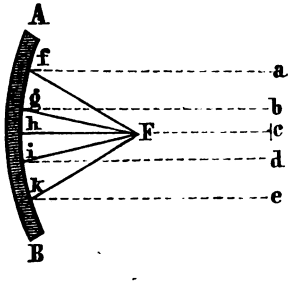
erhabene Fläche also mit Amalgam belegt oder wenigstens mit Tusche geschwärzt ist; ja man kann in Ermangelung eines besseren Hohlspiegels die folgenden Versuche wirklich mit einem solchen Uhrglase anstellen, besonders wenn dasselbe recht flach, mithin ein Abschnitt von einer recht großen Kugel ist. Den Mittelpunkt des Spiegels AB nennt man das optische Centrum (C), den Mittelpunkt der Kugel, von welcher der Spiegel ein Abschnitt ist, das geometrische Centrum (O), die gerade Linie (CO), welche diese beiden Punkte verbindet, heißt die Axe des Hohlspiegels.



Die bei dem Planspiegel aufgestellten Brechungsgesetze gelten auch für den Hohlspiegel. Unter dem Einfallslothe versteht man hier jeden die Spiegelfläche treffenden Lichtstrahl, der in seiner Verlängerung durch den geometrischen Mittelpunkt geht, z. B. OD. Ein in dieser Richtung auffallender Strahl wird in sich selbst zurückgeworfen.

§ 99. Der Brennpunkt (Fokus) des Hohlspiegels.

Fängt man mittelst eines Hohlspiegels die Sonnenstrahlen auf, so daß sie ihn in der Richtung seiner Axe oder parallel mit derselben treffen, z. B. af, bg u. s. w., so werden sie dergestalt zurückgeworfen, daß sie sich in Einem Punkte (F) vereinigen. Diesen Punkt findet man, wenn man ein Blatt Papier zwischen den Spiegel und die Sonne bringt, und dasselbe so lange hin und her bewegt, bis das Sonnenbild als ein möglichst kleiner hell erleuchteter



Digitized by Google

Kreis erscheint; er liegt fast in der Mitte zwischen dem optischen und geometrischen Centrum. Bei einem größeren Hohlspiegel erzeugen die zusammentreffenden Strahlen eine solche Hitze, daß das Papier in Brand gesetzt wird. Noch leichter kommt Feuerschwamm zum Brennen. Aus diesem Grunde heißt der betreffende Punkt der Brennpunkt (Fokus), und seine Entfernung von dem Mittelpunkte des Spiegels wird die Brennweite genannt. Wir prägen uns als erstes Gesetz für den Hohlspiegel ein:

Alle mit der Axe parallel einfallenden Strahlen wirft der Hohlspiegel in seinen Brennpunkt zurück.

§ 100. Der Hohlspiegel als Brennspiegel.

Aus dem Vorstehenden ergiebt sich, daß man den Hohlspiegel zur Erzeugung einer großen Hitze benutzen kann. Ein Hohlspiegel von 4 Fuß Durchmesser und 6 Fuß Brennweite erregt eine Hitze, welche die unmittelbare Einwirkung der Sonnenstrahlen beinahe 5000 mal an Stärke übertrifft. Mit solchen Brennspiegeln kann man Erde verglasen, Metalle schmelzen, entfernte Schiffe und Häuser in Brand setzen. Man kann übrigens auch eine große Menge kleiner Planspiegel so zusammenstellen, daß sie in ihrer Vereinigung eine Wölbung bilden, welche der eines Hohlspiegels ziemlich gleich kommt. Wahrscheinlich waren die Spiegel, mit denen der griechische Mathematiker Archimedes 212 v. Chr. die vor Syrakus liegende römische Flotte vernichtete, von solcher Art.

Hohlspiegel, welche Kugelabschnitte bilden, werfen jedoch nur diejenigen Strahlen genau in den Brennpunkt zurück, welche nicht allein mit der Axe parallel, sondern auch dieser sehr nahe einfallen. Die entfernteren werden um den Brennpunkt herum zurückgeworfen, so daß ihre Vereinigung nicht einen wirklichen Punkt, sondern einen größeren oder kleineren Brennraum bildet, wodurch natürlich auch die Wirkung geschwächt wird; daher erscheint uns auch das aufgefangene Sonnenbild nicht als ein Punkt, sondern als ein kleiner Kreis. Man kann aber auch Brennspiegel — doch mit weit größerer Schwierigkeit — so

Digitized by Google

Daß die Hauptmasse der Strahlen wirklich in der durch die Spiegelgesetze bezeichneten Richtung zurückgeworfen wird, sieht man besonders deutlich, wenn man in ein Zimmer, dessen Läden geschlossen sind, oder dessen Fenster man mit dicken Vorhängen von Papier bedeckt, nur durch eine feine Oeffnung einen Sonnenstrahl einfallen läßt, den man mittelst eines Spiegels auffängt. Man kann dann den zurückgeworfenen Strahl deutlich sehen. Auch ist es bekannt, daß, wenn man das volle Sonnenbild mit einem Spiegel auffängt, dasselbe nur in einer bestimmten (und zwar in der den Spiegelgesetzen angemessenen) Richtung vollständig zurückgeworfen wird, und ein Auge, welches sich in dieser Richtung befindet, heftig blendet, was mit einem außerhalb dieser Richtung befindlichen Auge nicht der Fall ist.

Uebrigens wirft jeder Körper nur einen Theil des auffallenden Lichtes zurück, indem er einen Theil verschluckt (absorbirt), und, falls er durchsichtig ist, einen andern Theil durchgehen läßt.

Je ebener und glatter eine Fläche ist, desto vollkommener wirft sie die Lichtstrahlen zurück, so daß ein Bild des Körpers entsteht, von welchem sie Lichtstrahlen empfängt. Undurchsichtige Körper, deren Oberfläche nicht polirt, sondern rauh ist, werfen die auffallenden Strahlen nach allen Seiten hin zurück, so daß das Licht zerstreut wird. Mit dieser Zerstreuung des Lichtes ist eine Schwächung desselben verbunden, daher blendet es uns nicht. Nur vermöge des zurückgeworfenen Lichtes können wir die Gegenstände wahrnehmen, ihre Gestalt, Größe und Farbe unterscheiden. So verdeckt uns z. B. ein dichter Rauch die hinter ihm befindlichen Gegenstände, weil die von denselben zurückgeworfenen Lichtstrahlen den Rauch nicht durchdringen, also nicht in unser Auge gelangen können. Einen Körper, welcher gar keine Lichtstrahlen zurückwürfe, könnten wir gar nicht sehen. Ohne die Zurückwerfung des Sonnenlichtes durch die verschiedenen Gegenstände auf der Erde würden wir selbst am hellen Tage nur die von der Sonne unmittelbar beschienenen Dinge sehen; Zimmer, in welche keine

Digitized by Google

directen Sonnenstrahlen fielen, würden völlig finster sein; jede vor die Sonne tretende Wolke würde uns in nächtliche Dunkelheit versetzen.

Auf der Zurückwerfung der Lichtstrahlen beruht auch die Morgen- und Abenddämmerung. Wenn die Sonne am Morgen noch nicht hoch genug steht oder am Abende schon zu tief hinabgesunken ist, um uns ihre Strahlen in gerader Richtung zusenden zu können, treffen doch viele Strahlen die dunsterfüllte Atmosphäre, werden von dieser zurückgeworfen, und verlängern unsern Tag. Je weniger Dünste die Luft enthält, desto geringer ist die Zurückwerfung der Lichtstrahlen, daher hat die heiße Zone eine sehr kurze, die kalte eine sehr lange Dämmerung.

§ 94. Die verschiedenen Arten von Spiegeln.

Jede glatte Fläche erzeugt ein Bild des Gegenstandes, von welchem sie Lichtstrahlen empfängt, und hat demnach die Eigenschaften eines Spiegels in höherem oder geringerem Grade. Daher nennen wir die Oberfläche eines klaren, ruhigen Wassers den Wasserspiegel, die Oberfläche des Quecksilbers den Quecksilberspiegel. Ein blanker Metallknopf, ein polirtes Brett, die Oberfläche einer Flasche, zumal von dunklem Glase, können als Spiegel dienen. Die vollkommensten Spiegel sind die Metallspiegel, sie sind aber sehr theuer und werden leicht unbrauchbar; man bereitet sie gewöhnlich aus einer Mischung (Composition) von Kupfer und Zinn oder von Kupfer, Zinn und Zink. Im gewöhnlichen Leben werden allgemein die Glasspiegel benutzt. Bei diesen bildet die polirte Glastafel die erforderliche glatte Fläche, der dunkle undurchsichtige Hintergrund, mittelst dessen die Zurückwerfung der Lichtstrahlen erfolgt, wird durch die sogenannte Spiegelfolie gebildet. Diese wird auf folgende Weise hergestellt. Auf einen ganz glatten, ringsum mit einem [illegible]ten Rand versehenen Tisch legt man eine Tafel von sehr dünnem Zinnblech (Stanniol), übergießt dieselbe mit Quecksilber und verreibt dasselbe so, daß das Zinn überall davon naß wird. Es bildet sich eine Verbindung von Zinn und

Digitized by Google

Queckſilber, welche man ein Amalgam nennt. Nun legt man die ſorgfältig gereinigte Glastafel darauf, beſchwert dieſelbe mit Gewichten, die unterwärts mit Filz überzogen ſind, und läßt ſie 24 Stunden ruhig liegen. In dieſer Zeit hat ſich das Amalgam überall feſt an die Glastafel gelegt, iſt in dem erforderlichen Grade erhartet, und der Spiegel iſt fertig. Die Glasſpiegel, welche an der Hinterſeite mit Amalgam belegt ſind, haben jedoch den Fehler, daß ſowohl die Vorder- als die Hinterſeite des Glaſes ein Spiegelbild giebt. Man kann dieſes doppelte Bild deutlich ſehen, wenn man eine Lichtflamme ihre Strahlen in ſehr ſchiefer Richtung auf einen Spiegel fallen läßt. Für genaue optiſche Verſuche wendet man daher Glasſcheiben an, deren Rückſeite mit Tuſche geſchwärzt iſt; ſie werfen aber nur wenige Strahlen zurück, und die Bilder haben deshalb nur einen geringen Grad von Helligkeit.

Die Spiegel haben entweder eine ebene Oberfläche, und heißen dann ebene oder Planſpiegel, oder ihre Oberfläche iſt gekrümmt. Zu den gekrümmten Spiegeln gehören die Cylinderſpiegel, durch welche man verzerrte Bilder erhält. Man betrachte z. B. ſein Geſicht in einer dunklen Bierflaſche. Hält man dieſelbe ſenkrecht, ſo erſcheint das Geſicht auf ſeltſame Weiſe in die Länge gezogen; hält man ſie wagrecht, ſo iſt es in die Breite verzerrt. In einem blanken Kännchen von Blech kann man dieſelben Erſcheinungen wahrnehmen. Man kann übrigens beſondere verzerrte Bilder zeichnen, welche in einem ſolchen Spiegel den betreffenden Gegenſtand in ſeiner richtigen Geſtalt zeigen. Weit wichtiger als die Cylinderſpiegel ſind diejenigen Spiegel, welche Kugelabſchnitte bilden. Die innere, hohle Seite eines ſolchen Kugelabſchnittes giebt einen concaven oder Hohlſpiegel; die äußere Seite bildet einen convexen oder erhabenen Spiegel.

Digitized by Google

A. Der Planspiegel.

§ 95. Das Bild in einem Planspiegel.

Wir betrachten zunächst die Erscheinungen, welche ein Planspiegel uns zeigt.

a) Der Spiegel steht senkrecht.

Wir halten einen beliebigen Gegenstand, z. B. ein Messer, vor denselben. Der Spiegel zeigt uns ein Bild des Messers, welches mit diesem gleiche Gestalt, Größe und Richtung hat, und sich ebensoweit hinter dem Spiegel zu befinden scheint, als das Messer vor dem Spiegel. — Halten wir das Messer wagrecht quer vor den Spiegel, so ist das Bild ebenfalls wagrecht und quer, und es liegt abermals so weit hinter dem Spiegel, als das Messer vor demselben. — Geben wir dem wagrecht gehaltenen Messer eine solche Lage, daß seine Spitze den Spiegel berührt, während sein unteres Ende von dem Spiegel abgewendet, und auf uns zugekehrt ist, so liegt auch in dem Bilde die Spitze an dem Spiegel, und das andere Ende ist von demselben abgewendet. — Schräg gehalten, giebt das Messer auch ein schräges Bild, wobei stets der von dem Spiegel am weitesten entfernte Theil des Messers auch im dem Bilde am weitesten entfernt erscheint.

b) Der Spiegel liegt wagrecht.

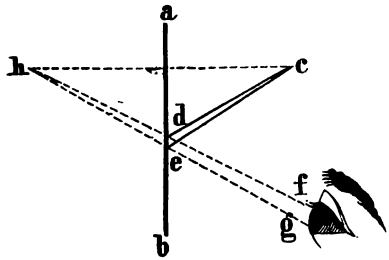
Das mit seinem unteren Ende den Spiegel berührende, senkrecht auf ihn gestellte Messer giebt auch ein senkrechtes Bild; die am weitesten von dem Spiegel entfernte Spitze ist auch im Bilde am weitesten entfernt, daher steht das Bild mit der Spitze nach unten. In dieser Weise sehen wir in einem wagrechten Wasserspiegel die am Ufer befindlichen Gegenstände so abgebildet, daß ihre Spitzen sich in der Tiefe darstellen.

c) Der Spiegel hängt schräg, so daß er einen Winkel von 45 Graden mit dem Horizont bildet. Das wagrecht vor ihn gehaltene Messer giebt ein senk-

Digitized by Google

rechtes, das senkrecht gehaltene ein wagrechtes Bild. Eine wagrecht auf ihn zu gerollte Kugel scheint senkrecht aufwärts, eine von ihm wagrecht hinwegrollende Kugel aber scheint senkrecht abwärts zu rollen.

Zur Erklärung der besprochenen Erscheinungen richten wir unsere Aufmerksamkeit auf die nebenstehende Figur. a b sei der Spiegel, c ein leuchtender Punkt. Von diesem fallen unzählige Lichtstrahlen auf den Spiegel, unter anderen auch c d und c e. Nach dem Zurückwerfungsgesetze (§ 93) wird der Strahl c d in der Richtung d f, der Strahl c e in der Richtung e g zurückgeworfen. Nun sucht aber unser Auge jeden Gegenstand in der Richtung, von welcher es die Strahlen empfängt. Die beiden zurückgeworfenen Strahlen d f und e g scheinen aus demjenigen Punkte herzukommen, in welchem sie zusammentreffen würden, wenn man sie hinter dem Spiegel verlängert, also von h. Dieser Punkt liegt aber genau so weit hinter dem Spiegel, als der leuchtende Punkt c vor demselben, und man kann ihn sofort bestimmen, wenn man von c eine senkrechte Linie auf den (nöthigen Falls verlängert gedachten) Spiegel zieht, und dieselbe hinter dem Spiegel um ihre eigene Länge verlängert. Mithin sieht das Auge den Punkt c in h abgebildet. — Ein ganzer Gegenstand aber besteht aus einer unzähligen Menge von Punkten, deren jeder sich in derselben Weise darstellt, wie der besprochene Punkt c. Daraus folgt:



In einem ebenen Spiegel hat das Bild gleiche Gestalt und Größe mit dem abgebildeten Gegenstande, und liegt so weit hinter dem Spiegel als dieser sich vor demselben befindet.

Wir haben aber unsere Aufmerksamkeit noch auf eine eigenthümliche Erscheinung zu richten. Stellen wir uns vor den senk-

Digitized by Google

recht hängenden Spiegel, indem wir das bei den vorigen Versuchen angewendete Messer in der rechten Hand halten, so hält das Spiegelbild dasselbe in der linken Hand und umgekehrt. Ziehen wir auf einem Blatte Papier eine Linie von rechts oben nach links unten, so erscheint sie in dem Spiegelbilde von links oben nach rechts unten.

In dem Spiegelbilde findet eine Vertauschung von Rechts und Links statt.

Daher kann man gewöhnliche Schreib- oder Druckschrift im Spiegel nicht lesen, wohl aber erscheint die Inschrift eines Petschafts oder ein Letternsatz im Spiegel wie in einem Abdrucke richtig, und wenn man etwas in sogenannter Spiegelschrift — d. h. so daß sie im Spiegelbilde lesbar ist — schreibt, so muß man von der Rechten zur Linken schreiben und die Aufstriche von rechts unten nach links oben, die Abstriche von links oben nach rechts unten machen.

§ 96. Verbundene Planspiegel.

Eigenthümliche Erscheinungen nehmen wir wahr, wenn wir mehrere Spiegel zusammenstellen.

Werden zwei Spiegel parallel aufgestellt, und es wird ein brennendes Licht zwischen beide gebracht, so entsteht zunächst in jedem derselben in bekannter Weise ein Bild, welches so weit hinter dem Spiegel zu liegen scheint, als die Entfernung des Lichtes von demselben beträgt. Jeder Spiegel mit seinem Bilde wird aber für den gegenüberstehenden Spiegel wieder zu einem Gegenstande, den derselbe abspiegelt, und zwar wird das zweite Bild so weit hinter jedem Spiegel liegen, als das erste vor ihm, die zweiten Bilder sind demnach weiter entfernt, als die ersten. Indem diese zweiten Bilder sich wiederum abspiegeln, entstehen die dritten noch entfernter liegenden Bilder u. s. w. Es würden auf diese Weise unzählige Bilder entstehen, wenn nicht dieselben immer schwächer würden, weil stets nur ein Theil der Lichtstrahlen zurückgeworfen wird; daher sieht man gewöhnlich nur 6—8 Bilder deutlich. Einen prachtvollen Eindruck

Digitized by Google

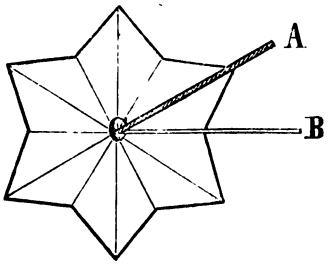
gewähren Zimmer, deren Wände ganz mit Spiegelglas bedeckt sind, zumal bei glänzender Beleuchtung.

Stellt man zwei Spiegel unter einem Winkel zusammen, so erhält man so viele Bilder, als die Zahl der Grade des Winkels in 360 enthalten ist weniger eins; je spitzer also der Winkel ist, desto größer ist die Zahl der Bilder, die zusammen mit dem wirklichen Gegenstande eine kreisförmige Figur bilden. Man verabsäume nicht, die hierher gehörigen interessanten Versuche anzustellen. Es genügen dazu zwei Glasstreifchen von einem Zoll Breite und 4 bis 6 Zoll Länge, die man auf der Hinterseite mit Ruß oder Tusche schwärzt. Bequem ist es, wenn man dieselben an zwei langen Kanten mit einem Streifen Papier zusammenklebt, so daß man sie wie ein Buch beliebig weit öffnen kann. Stellt man sie nun senkrecht auf den Tisch und legt kleine Gegenstände, z. B. Papierschnitzel von verschiedener Gestalt, eine Erbse oder Glasperle u. s. w. zwischen sie, so erhält man niedliche Figuren.

§ 97. Einige auf dem Planspiegel beruhende Instrumente.

1. Das Kaleidoscop oder der Schöngucker.

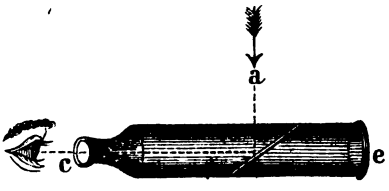
Bringt man die soeben besprochenen Winkelspiegel in eine Röhre von Pappe oder Holz, welche vorn eine enge Oeffnung zum Hineinsehen hat, hinten aber mit einer aus zwei Glasscheiben gebildeten Kapsel versehen ist, in welcher sich allerlei glänzende Kleinigkeiten befinden, so erscheint eine symmetrische Figur, die sich bei jedem Schütteln oder Umdrehen der Röhre anders gestaltet, und für Kattundruckerei u. s. w. brauchbare Muster giebt. Die äußere Glasscheibe ist matt geschliffen, damit sie zwar Licht einfallen läßt, aber das Entstehen von Bildern der außer-



Digitized by Google

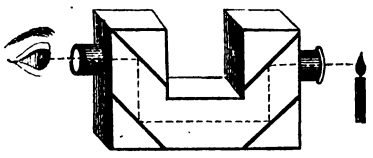
halb des Werkzeuges befindlichen Gegenstände verhindert. Das Instrument, welches oft als Spielerei für Kinder feilgeboten wird, heißt das Kaleidoscop. Gewöhnlich sind die Spiegel unter einem Winkel von 60 Grad zusammengestellt, so daß man jeden Gegenstand sechsmal sieht. Die Figur auf S. 226 zeigt zwei unter einem Winkel von 30^0 verbundene Spiegel (AC und BC); ein zwischen dieselben gelegtes Dreieck bildet den dargestellten Stern.

2. Der Operngucker oder das Polemoscop.



Eine Röhre mit enger Oeffnung zum Hineinsehen hat an einer Seite ein Loch, hinter welchem ein kleiner Spiegel mit einer Neigung von 45 Grad befestigt ist. Während man das Instrument in der Richtung ce vor das Auge hält, erblickt man die in a befindlichen Gegenstände; man kann also Objecte betrachten, ohne daß man nach ihnen hinsieht.

3. Das Zauberperspectiv.



Eine zweimal rechtwinkelig gebogene Röhre enthält vier unter Winkeln von 45 Grad geneigte Spiegel.

Man kann mittelst dieser Vorrichtung scheinbar durch eine Hand oder ein Brett sehen. Der Weg des Lichts ist aus der Figur klar ersichtlich.

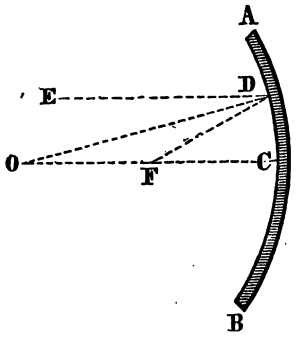
B. Der Hohlspiegel.

§ 98. Die Beschaffenheit eines Hohlspiegels.

Einen Hohlspiegel kann man sich als ein Uhrglas vorstellen, dessen innere Höhlung als Spiegelfläche dient, dessen äußere,

Digitized by Google

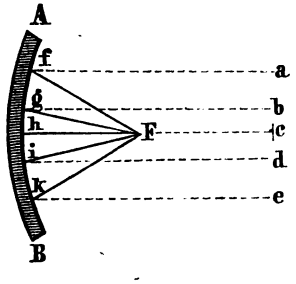
erhabene Fläche also mit Amalgam belegt oder wenigstens mit Tusche geschwärzt ist; ja man kann in Ermangelung eines besseren Hohlspiegels die folgenden Versuche wirklich mit einem solchen Uhrglase anstellen, besonders wenn dasselbe recht flach, mithin ein Abschnitt von einer recht großen Kugel ist. Den Mittelpunkt des Spiegels AB nennt man das optische Centrum (C), den Mittelpunkt der Kugel, von welcher der Spiegel ein Abschnitt ist, das geometrische Centrum (O), die gerade Linie (CO), welche diese beiden Punkte verbindet, heißt die Axe des Hohlspiegels.



Die bei dem Planspiegel aufgestellten Brechungsgesetze gelten auch für den Hohlspiegel. Unter dem Einfallslothe versteht man hier jeden die Spiegelfläche treffenden Lichtstrahl, der in seiner Verlängerung durch den geometrischen Mittelpunkt geht, z. B. OD. Ein in dieser Richtung auffallender Strahl wird in sich selbst zurückgeworfen.

§ 99. Der Brennpunkt (Fokus) des Hohlspiegels.

Fängt man mittelst eines Hohlspiegels die Sonnenstrahlen auf, so daß sie ihn in der Richtung seiner Axe oder parallel mit derselben treffen, z. B. af, bg u. s. w., so werden sie dergestalt zurückgeworfen, daß sie sich in Einem Punkte (F) vereinigen. Diesen Punkt findet man, wenn man ein Blatt Papier zwischen den Spiegel und die Sonne bringt, und dasselbe so lange hin und her bewegt, bis das Sonnenbild als ein möglichst kleiner hell erleuchteter



Digitized by Google

Kreis erscheint; er liegt fast in der Mitte zwischen dem optischen und geometrischen Centrum. Bei einem größeren Hohlspiegel erzeugen die zusammentreffenden Strahlen eine solche Hitze, daß das Papier in Brand gesetzt wird. Noch leichter kommt Feuerschwamm zum Brennen. Aus diesem Grunde heißt der betreffende Punkt der Brennpunkt (Fokus), und seine Entfernung von dem Mittelpunkte des Spiegels wird die Brennweite genannt. Wir prägen uns als erstes Gesetz für den Hohlspiegel ein:

Alle mit der Axe parallel einfallenden Strahlen wirft der Hohlspiegel in seinen Brennpunkt zurück.

§ 100. Der Hohlspiegel als Brennspiegel.

Aus dem Vorstehenden ergiebt sich, daß man den Hohlspiegel zur Erzeugung einer großen Hitze benutzen kann. Ein Hohlspiegel von 4 Fuß Durchmesser und 6 Fuß Brennweite erregt eine Hitze, welche die unmittelbare Einwirkung der Sonnenstrahlen beinahe 5000 mal an Stärke übertrifft. Mit solchen Brennspiegeln kann man Erde verglasen, Metalle schmelzen, entfernte Schiffe und Häuser in Brand setzen. Man kann übrigens auch eine große Menge kleiner Planspiegel so zusammenstellen, daß sie in ihrer Vereinigung eine Wölbung bilden, welche der eines Hohlspiegels ziemlich gleich kommt. Wahrscheinlich waren die Spiegel, mit denen der griechische Mathematiker Archimedes 212 v. Chr. die vor Syrakus liegende römische Flotte vernichtete, von solcher Art.

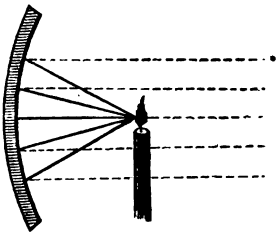
Hohlspiegel, welche Kugelabschnitte bilden, werfen jedoch nur diejenigen Strahlen genau in den Brennpunkt zurück, welche nicht allein mit der Axe parallel, sondern auch dieser sehr nahe einfallen. Die entfernteren werden um den Brennpunkt herum zurückgeworfen, so daß ihre Vereinigung nicht einen wirklichen Punkt, sondern einen größeren oder kleineren Brennraum bildet, wodurch natürlich auch die Wirkung geschwächt wird; daher erscheint uns auch das aufgefangene Sonnenbild nicht als ein Punkt, sondern als ein kleiner Kreis. Man kann aber auch Brennspiegel — doch mit weit größerer Schwierigkeit — so

Digitized by Google

schleifen, daß die mit der Axe parallel aufgefallenen Strahlen wirklich genau in den Brennpunkt fallen (*parabolische Spiegel*).

§ 101. Der Hohlspiegel als Erleuchtungsspiegel.

Wenn die mit der Axe des Hohlspiegels parallel auffallenden Lichtstrahlen in den Brennpunkt zurückgeworfen werden, so müssen umgekehrt die aus dem Brennpunkte auf den Spiegel fallenden Strahlen parallel mit der Axe zurückgeworfen werden. Steht demnach eine Lichtflamme im Brennpunkte eines Hohlspiegels, so sieht man diesen von einem glänzenden Lichtscheine erhellt, und die von ihm zurückgeworfenen Strahlen verstärken die Beleuchtung bedeutend. Daher versieht man Straßen- und Flurlaternen, Wandleuchter, das Licht der Leuchtthürme u. dgl. mit hohlspiegelartigen Blenden von glänzendem Metall.



§ 102. Die mittelst des Hohlspiegels entstehenden Bilder überhaupt.

Die Beschaffenheit der mittelst eines Hohlspiegels erzeugten Bilder lernt man am leichtesten kennen, wenn man die folgenden Versuche in einem finstern Zimmer anstellt, und als zu betrachtenden Gegenstand eine helle Lichtflamme wählt.

1) Man stelle das brennende Licht dicht vor den Spiegel: man erblickt ein aufrechtes vergrößertes Bild desselben, welches immer größer wird, wenn man das Licht langsam vom Spiegel entfernt. Dieses Bild liegt — wie bei dem Planspiegel — hinter dem Spiegel.
2) Hat man das Licht so weit entfernt, daß es gerade im Brennpunkte steht, so sieht man gar kein Bild; der Spiegel ist von hellem Glanze erfüllt (§ 101).

Digitized by Google

3) Man entfernt das Licht um ein Geringes weiter, so daß es zwischen dem Brennpunkte und dem geometrischen Centrum steht: es erscheint ein vergrößertes verkehrtes Bild. Dieses Bild liegt aber nicht hinter dem Spiegel, sondern vor demselben, und zwar weiter entfernt, als die Flamme. Es ist auch nicht bloß — wie ein Bild in einem Planspiegel oder wie das bei dem Versuche 1. erschienene Bild im Hohlspiegel — in der Einbildung des Beschauers vorhanden, sondern es schwebt wirklich in der Luft, und man kann es mittelst eines Blattes Papier auffangen, welches man so hält, daß das Licht zwischen Spiegel und Papier steht. Es erscheint dann auf dem Papiere, als wäre es auf dasselbe gemalt, und kann von jedem Standpunkte aus wahrgenommen werden.

4) Man stelle das Licht in das geometrische Centrum: es ist kein Bild vorhanden, denn es fällt mit dem Lichte selbst zusammen.

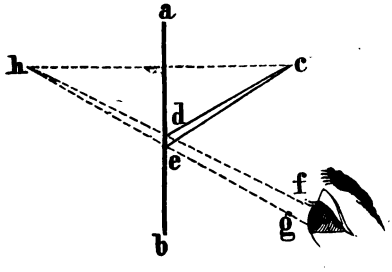
5) Man entfernt das Licht weiter vom Spiegel, so daß es noch außerhalb des geometrischen Centrums steht: es erscheint ein verkleinertes, verkehrtes Bild, welwelches, wie bei Versuch 3. wirklich in der Luft schwebt, aber zwischen Spiegel und Licht, in der Nähe des Brennpunktes, so daß man es dort mittelst eines zwischen Spiegel und Licht gehaltenen durchscheinenden Blattes Papier auffangen kann. Der letztgenannte Versuch läßt sich auch sehr schön bei vollem Tageslichte anstellen. Fängt man nämlich die von einem entfernten Gegenstande, von einem Thurme, Hause, Baume u. dgl. kommenden Lichtstrahlen auf, so erblickt man auf einem zwischen den Spiegel und diesen Gegenstand gehaltenen durchscheinenden (z. B. geölten) Papierblatte ein reizendes, im vollen Farbenschmucke prangendes, verkehrtes Bild.

Wir haben im Vorstehenden hauptsächlich zweierlei mittelst des Hohlspiegels erzeugte Bilder kennen gelernt, und zwar zunächst bei Versuch 1. ein solches, wie uns auch der Planspiegel

Digitized by Google

rechtes, das senkrecht gehaltene ein wagrechtes Bild. Eine wagrecht auf ihn zu gerollte Kugel scheint senkrecht aufwärts, eine von ihm wagrecht hinwegrollende Kugel aber scheint senkrecht abwärts zu rollen.

Zur Erklärung der besprochenen Erscheinungen richten wir unsere Aufmerksamkeit auf die nebenstehende Figur. a b sei der Spiegel, c ein leuchtender Punkt. Von diesem fallen unzählige Lichtstrahlen auf den Spiegel, unter anderen auch c d und c e. Nach dem Zurückwerfungsgesetze (§ 93) wird der Strahl c d in der Richtung d f, der Strahl c e in der Richtung e g zurückgeworfen. Nun sucht aber unser Auge jeden Gegenstand in der Richtung, von welcher es die Strahlen empfängt. Die beiden zurückgeworfenen Strahlen d f und e g scheinen aus demjenigen Punkte herzukommen, in welchem sie zusammentreffen würden, wenn man sie hinter dem Spiegel verlängert, also von h. Dieser Punkt liegt aber genau so weit hinter dem Spiegel, als der leuchtende Punkt c vor demselben, und man kann ihn sofort bestimmen, wenn man von c eine senkrechte Linie auf den (nöthigen Falls verlängert gedachten) Spiegel zieht, und dieselbe hinter dem Spiegel um ihre eigene Länge verlängert. Mithin sieht das Auge den Punkt c in h abgebildet. — Ein ganzer Gegenstand aber besteht aus einer unzähligen Menge von Punkten, deren jeder sich in derselben Weise darstellt, wie der besprochene Punkt c. Daraus folgt:



In einem ebenen Spiegel hat das Bild gleiche Gestalt und Größe mit dem abgebildeten Gegenstande, und liegt so weit hinter dem Spiegel als dieser sich vor demselben befindet.

Wir haben aber unsere Aufmerksamkeit noch auf eine eigenthümliche Erscheinung zu richten. Stellen wir uns vor den senk-

Digitized by Google

recht hängenden Spiegel, indem wir das bei den vorigen Versuchen angewendete Messer in der rechten Hand halten, so hält das Spiegelbild dasselbe in der linken Hand und umgekehrt. Ziehen wir auf einem Blatte Papier eine Linie von rechts oben nach links unten, so erscheint sie in dem Spiegelbilde von links oben nach rechts unten.

In dem Spiegelbilde findet eine Vertauschung von Rechts und Links statt.

Daher kann man gewöhnliche Schreib- oder Druckschrift im Spiegel nicht lesen, wohl aber erscheint die Inschrift eines Petschafts oder ein Letternsatz im Spiegel wie in einem Abdrucke richtig, und wenn man etwas in sogenannter Spiegelschrift — d. h. so daß sie im Spiegelbilde lesbar ist — schreibt, so muß man von der Rechten zur Linken schreiben und die Aufstriche von rechts unten nach links oben, die Abstriche von links oben nach rechts unten machen.

§ 96. Verbundene Planspiegel.

Eigenthümliche Erscheinungen nehmen wir wahr, wenn wir mehrere Spiegel zusammenstellen.

Werden zwei Spiegel parallel aufgestellt, und es wird ein brennendes Licht zwischen beide gebracht, so entsteht zunächst in jedem derselben in bekannter Weise ein Bild, welches so weit hinter dem Spiegel zu liegen scheint, als die Entfernung des Lichtes von demselben beträgt. Jeder Spiegel mit seinem Bilde wird aber für den gegenüberstehenden Spiegel wieder zu einem Gegenstande, den derselbe abspiegelt, und zwar wird das zweite Bild so weit hinter jedem Spiegel liegen, als das erste vor ihm, die zweiten Bilder sind demnach weiter entfernt, als die ersten. Indem diese zweiten Bilder sich wiederum abspiegeln, entstehen die dritten noch entfernter liegenden Bilder u. s. w. Es würden auf diese Weise unzählige Bilder entstehen, wenn nicht dieselben immer schwächer würden, weil stets nur ein Theil der Lichtstrahlen zurückgeworfen wird; daher sieht man gewöhnlich nur 6—8 Bilder deutlich. Einen prachtvollen Eindruck

Digitized by Google

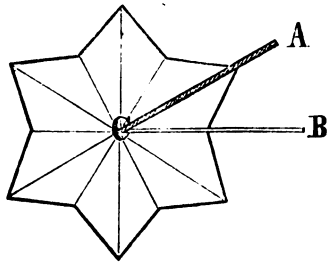
gewähren Zimmer, deren Wände ganz mit Spiegelglas bedeckt sind, zumal bei glänzender Beleuchtung.

Stellt man zwei Spiegel unter einem Winkel zusammen, so erhält man so viele Bilder, als die Zahl der Grade des Winkels in 360 enthalten ist weniger eins; je spitzer also der Winkel ist, desto größer ist die Zahl der Bilder, die zusammen mit dem wirklichen Gegenstande eine kreisförmige Figur bilden. Man verabsäume nicht, die hierher gehörigen interessanten Versuche anzustellen. Es genügen dazu zwei Glasstreifchen von einem Zoll Breite und 4 bis 6 Zoll Länge, die man auf der Hinterseite mit Ruß oder Tusche schwärzt. Bequem ist es, wenn man dieselben an zwei langen Kanten mit einem Streifen Papier zusammenklebt, so daß man sie wie ein Buch beliebig weit öffnen kann. Stellt man sie nun senkrecht auf den Tisch und legt kleine Gegenstände, z. B. Papierschnitzel von verschiedener Gestalt, eine Erbse oder Glasperle u. s. w. zwischen sie, so erhält man niedliche Figuren.

§ 97. Einige auf dem Planspiegel beruhende Instrumente.

1. Das Kaleidoscop oder der Schöngucker.

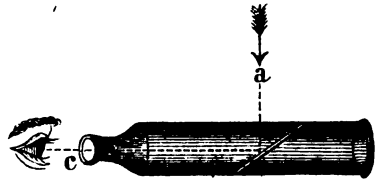
Bringt man die soeben besprochenen Winkelspiegel in eine Röhre von Pappe oder Holz, welche vorn eine enge Oeffnung zum Hineinsehen hat, hinten aber mit einer aus zwei Glasscheiben gebildeten Kapsel versehen ist, in welcher sich allerlei glänzende Kleinigkeiten befinden, so erscheint eine symmetrische Figur, die sich bei jedem Schütteln oder Umdrehen der Röhre anders gestaltet, und für Kattundruckerei u. s. w. brauchbare Muster giebt. Die äußere Glasscheibe ist matt geschliffen, damit sie zwar Licht einfallen läßt, aber das Entstehen von Bildern der außer-



Digitized by Google

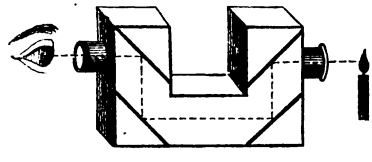
halb des Werkzeuges befindlichen Gegenstände verhindert. Das Instrument, welches oft als Spielerei für Kinder feilgeboten wird, heißt das Kaleidoscop. Gewöhnlich sind die Spiegel unter einem Winkel von 60 Grad zusammengestellt, so daß man jeden Gegenstand sechsmal sieht. Die Figur auf S. 226 zeigt zwei unter einem Winkel von 30^0 verbundene Spiegel (AC und BC); ein zwischen dieselben gelegtes Dreieck bildet den dargestellten Stern.

2. Der Operngucker oder das Polemoscop.



Eine Röhre mit enger Oeffnung zum Hineinsehen hat an einer Seite ein Loch, hinter welchem ein kleiner Spiegel mit einer Neigung von 45 Grad befestigt ist. Während man das Instrument in der Richtung ce vor das Auge hält, erblickt man die in a befindlichen Gegenstände; man kann also Objecte betrachten, ohne daß man nach ihnen hinsieht.

3. Das Zauberperspectiv.



Eine zweimal rechtwinkelig gebogene Röhre enthält vier unter Winkeln von 45 Grad geneigte Spiegel.

Man kann mittelst dieser Vorrichtung scheinbar durch eine Hand oder ein Brett sehen. Der Weg des Lichts ist aus der Figur klar ersichtlich.

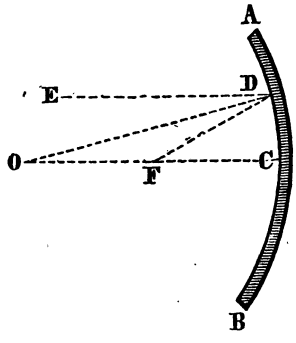
B. Der Hohlspiegel.

§ 98. Die Beschaffenheit eines Hohlspiegels.

Einen Hohlspiegel kann man sich als ein Uhrglas vorstellen, dessen innere Höhlung als Spiegelfläche dient, dessen äußere,

Digitized by Google

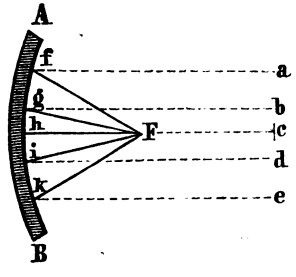
erhabene Fläche also mit Amalgam belegt oder wenigstens mit Tusche geschwärzt ist; ja man kann in Ermangelung eines besseren Hohlspiegels die folgenden Versuche wirklich mit einem solchen Uhrglase anstellen, besonders wenn dasselbe recht flach, mithin ein Abschnitt von einer recht großen Kugel ist. Den Mittelpunkt des Spiegels AB nennt man das optische Centrum (C), den Mittelpunkt der Kugel, von welcher der Spiegel ein Abschnitt ist, das geometrische Centrum (O), die gerade Linie (CO), welche diese beiden Punkte verbindet, heißt die Axe des Hohlspiegels.



Die bei dem Planspiegel aufgestellten Brechungsgesetze gelten auch für den Hohlspiegel. Unter dem Einfallslothe versteht man hier jeden die Spiegelfläche treffenden Lichtstrahl, der in seiner Verlängerung durch den geometrischen Mittelpunkt geht, z. B. OD. Ein in dieser Richtung auffallender Strahl wird in sich selbst zurückgeworfen.

§ 99. Der Brennpunkt (Fokus) des Hohlspiegels.

Fängt man mittelst eines Hohlspiegels die Sonnenstrahlen auf, so daß sie ihn in der Richtung seiner Axe oder parallel mit derselben treffen, z. B. af, bg u. s. w., so werden sie dergestalt zurückgeworfen, daß sie sich in Einem Punkte (F) vereinigen. Diesen Punkt findet man, wenn man ein Blatt Papier zwischen den Spiegel und die Sonne bringt, und dasselbe so lange hin und her bewegt, bis das Sonnenbild als ein möglichst kleiner hell erleuchteter



Digitized by Google

Kreis erscheint; er liegt fast in der Mitte zwischen dem optischen und geometrischen Centrum. Bei einem größeren Hohlspiegel erzeugen die zusammentreffenden Strahlen eine solche Hitze, daß das Papier in Brand gesetzt wird. Noch leichter kommt Feuerschwamm zum Brennen. Aus diesem Grunde heißt der betreffende Punkt der Brennpunkt (Fokus), und seine Entfernung von dem Mittelpunkte des Spiegels wird die Brennweite genannt. Wir prägen uns als erstes Gesetz für den Hohlspiegel ein:

Alle mit der Axe parallel einfallenden Strahlen wirft der Hohlspiegel in seinen Brennpunkt zurück.

§ 100. Der Hohlspiegel als Brennspiegel.

Aus dem Vorstehenden ergiebt sich, daß man den Hohlspiegel zur Erzeugung einer großen Hitze benutzen kann. Ein Hohlspiegel von 4 Fuß Durchmesser und 6 Fuß Brennweite erregt eine Hitze, welche die unmittelbare Einwirkung der Sonnenstrahlen beinahe 5000 mal an Stärke übertrifft. Mit solchen Brennspiegeln kann man Erde verglasen, Metalle schmelzen, entfernte Schiffe und Häuser in Brand setzen. Man kann übrigens auch eine große Menge kleiner Planspiegel so zusammenstellen, daß sie in ihrer Vereinigung eine Wölbung bilden, welche der eines Hohlspiegels ziemlich gleich kommt. Wahrscheinlich waren die Spiegel, mit denen der griechische Mathematiker Archimedes 212 v. Chr. die vor Syrakus liegende römische Flotte vernichtete, von solcher Art.

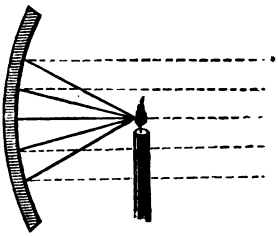
Hohlspiegel, welche Kugelabschnitte bilden, werfen jedoch nur diejenigen Strahlen genau in den Brennpunkt zurück, welche nicht allein mit der Axe parallel, sondern auch dieser sehr nahe einfallen. Die entfernteren werden um den Brennpunkt herum zurückgeworfen, so daß ihre Vereinigung nicht einen wirklichen Punkt, sondern einen größeren oder kleineren Brennraum bildet, wodurch natürlich auch die Wirkung geschwächt wird; daher erscheint uns auch das aufgefangene Sonnenbild nicht als ein Punkt, sondern als ein kleiner Kreis. Man kann aber auch Brennspiegel — doch mit weit größerer Schwierigkeit — so

Digitized by Google

schleifen, daß die mit der Axe parallel aufgefallenen Strahlen wirklich genau in den Brennpunkt fallen (*parabolische Spiegel*).

§ 101. Der Hohlspiegel als Erleuchtungsspiegel.

Wenn die mit der Axe des Hohlspiegels parallel auffallenden Lichtstrahlen in den Brennpunkt zurückgeworfen werden, so müssen umgekehrt die aus dem Brennpunkte auf den Spiegel fallenden Strahlen parallel mit der Axe zurückgeworfen werden. Steht demnach eine Lichtflamme im Brennpunkte eines Hohlspiegels, so sieht man diesen von einem glänzenden Lichtscheine erhellt, und die von ihm zurückgeworfenen Strahlen verstärken die Beleuchtung bedeutend. Daher versieht man Straßen- und Flurlaternen, Wandleuchter, das Licht der Leuchtthürme u. dgl. mit hohlspiegelartigen Blenden von glänzendem Metall.



§ 102. Die mittelst des Hohlspiegels entstehenden Bilder überhaupt.

Die Beschaffenheit der mittelst eines Hohlspiegels erzeugten Bilder lernt man am leichtesten kennen, wenn man die folgenden Versuche in einem finstern Zimmer anstellt, und als zu betrachtenden Gegenstand eine helle Lichtflamme wählt.

1) Man stelle das brennende Licht dicht vor den Spiegel: man erblickt ein aufrechtes vergrößertes Bild desselben, welches immer größer wird, wenn man das Licht langsam vom Spiegel entfernt. Dieses Bild liegt — wie bei dem Planspiegel — hinter dem Spiegel.
2) Hat man das Licht so weit entfernt, daß es gerade im Brennpunkte steht, so sieht man gar kein Bild; der Spiegel ist von hellem Glanze erfüllt (§ 101).

Digitized by Google

3) Man entfernt das Licht um ein Geringes weiter, so daß es zwischen dem Brennpunkte und dem geometrischen Centrum steht: es erscheint ein vergrößertes verkehrtes Bild. Dieses Bild liegt aber nicht hinter dem Spiegel, sondern vor demselben, und zwar weiter entfernt, als die Flamme. Es ist auch nicht bloß — wie ein Bild in einem Planspiegel oder wie das bei dem Versuche 1. erschienene Bild im Hohlspiegel — in der Einbildung des Beschauers vorhanden, sondern es schwebt wirklich in der Luft, und man kann es mittelst eines Blattes Papier auffangen, welches man so hält, daß das Licht zwischen Spiegel und Papier steht. Es erscheint dann auf dem Papiere, als wäre es auf dasselbe gemalt, und kann von jedem Standpunkte aus wahrgenommen werden.

4) Man stelle das Licht in das geometrische Centrum: es ist kein Bild vorhanden, denn es fällt mit dem Lichte selbst zusammen.

5) Man entfernt das Licht weiter vom Spiegel, so daß es noch außerhalb des geometrischen Centrums steht: es erscheint ein verkleinertes, verkehrtes Bild, welwelches, wie bei Versuch 3. wirklich in der Luft schwebt, aber zwischen Spiegel und Licht, in der Nähe des Brennpunktes, so daß man es dort mittelst eines zwischen Spiegel und Licht gehaltenen durchscheinenden Blattes Papier auffangen kann. Der letztgenannte Versuch läßt sich auch sehr schön bei vollem Tageslichte anstellen. Fängt man nämlich die von einem entfernten Gegenstande, von einem Thurme, Hause, Baume u. dgl. kommenden Lichtstrahlen auf, so erblickt man auf einem zwischen den Spiegel und diesen Gegenstand gehaltenen durchscheinenden (z. B. geölten) Papierblatte ein reizendes, im vollen Farbenschmucke prangendes, verkehrtes Bild.

Wir haben im Vorstehenden hauptsächlich zweierlei mittelst des Hohlspiegels erzeugte Bilder kennen gelernt, und zwar zunächst bei Versuch 1. ein solches, wie uns auch der Planspiegel

Digitized by Google

zeigte, indem es so weit hinter dem Spiegel erscheint, als sich der abgespiegelte Gegenstand vor demselben befindet. Dieses Bild ist aber, wie uns schon § 95. lehrte, nicht in der Wirklichkeit vorhanden, sonst müßte man es ja an dem betreffenden Orte hinter dem Spiegel sehen und es auf einem Blatt Papier auffangen können. Die Lichtstrahlen werden vielmehr nur so von dem Spiegel zurückgeworfen, daß das von ihnen getroffene Auge den Gegenstand dort sucht, von wo her die Strahlen zu kommen scheinen. Ein solches Bild besteht daher nur in der Vorstellung der in den Spiegel blickenden Person (des beschauenden Subjectes): deshalb nennt man es ein subjectives (oder auch ein geometrisches) Bild.

Anders ist es mit den bei Versuch 3 und 5. wahrgenommenen Bildern. Diese sind wirklich vorhandene Gegenstände (Objecte), und entstehen da, wo sich die zurückgeworfenen Strahlen vereinigen: sie heißen objective (physische) Bilder. Man nennt sie wohl auch Luftbilder, weil sie in der Luft schweben. Bei großen Hohlspiegeln von 2—4 Fuß Brennweite braucht man sie nicht mittelst einer Wand oder eines Papierschirms aufzufangen, sondern sie sind ohne Weiteres in der Luft sichtbar. Auf diese Weise werden von Taschenspielern und Betrügern sogenannte Geistererscheinungen veranstaltet. Der Hohlspiegel befindet sich in einem inwendig geschwärzten Kasten, innerhalb dessen auch der darzustellende Gegenstand — zwischen dem Brennpunkte und dem geometrischen Mittelpunkte — aufgestellt ist. Die erforderliche helle Beleuchtung empfängt derselbe durch zwei Lichtflammen, deren Strahlen durch kleine Blenden (Hohlspiegel) von dem großen Hohlspiegel abgehalten werden. Ist das abgespiegelte Object beweglich eingerichtet, so bewegt sich auch das Luftbild, und indem man jenes dem Spiegel mehr oder weniger nähert, bewirkt man die Vergrößerung, Verkleinerung, das Verschwinden und Wiedererscheinen des Bildes.

Nicht selten wird mittelst eines großen Hohlspiegels der interessante Versuch angestellt, daß man das objective Bild eines Blumenstraußes über einer leeren Blumenvase erscheinen läßt, so daß

Digitized by Google

man die Blumen in der Wirklichkeit zu sehen meint. Daß hierbei die Zeichnung verkehrt vor den Spiegel gestellt werden muß, ergiebt sich aus dem Vorhergesagten.

Somit hat sich uns der Hohlspiegel dargestellt:

1) als Spiegel überhaupt,
2) als Brennspiegel,
3) als Erleuchtungsspiegel,
4) als Zauberspiegel.

Fassen wir das Gelernte nun behufs des leichteren Behaltens noch einmal zusammen, so sprechen wir aus:

Der Hohlspiegel giebt:

a) ein aufrechtes, vergrößertes, subjectives Bild, wenn der Gegenstand sich zwischen Spiegel und Brennpunkt befindet;

b) ein verkehrtes, objectives Bild, wenn der Gegenstand weiter vom Spiegel entfernt ist, als der Brennpunkt, und zwar:

   aa) ein vergrößertes Bild, wenn der Gegenstand dem Brennpunkte nahe (zwischen diesem und dem geometrischen Mittelpunkte befindlich) ist — je näher dem Brennpunkte der Gegenstand ist, desto größer ist das Bild, welches stets jenseits des Objects erscheint;

   bb) ein verkleinertes Bild, wenn der Gegenstand weiter (über den geometrischen Mittelpunkt hinaus) von dem Spiegel entfernt ist; es erscheint in der Nähe des Brennpunktes, und rückt, sich vergrößernd, dem geometrischen Mittelpunkte näher, je mehr sich das Object von der entgegen gesetzten Seite her diesem nähert.

c) kein Bild,

   aa) wenn der Gegenstand im Brennpunkte,

   bb) wenn derselbe im geometrischen Centrum befindlich ist.

Digitized by Google

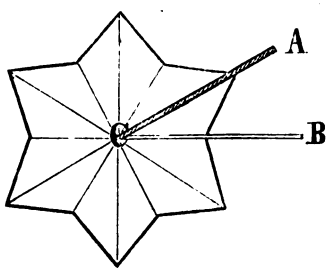
gewähren Zimmer, deren Wände ganz mit Spiegelglas bedeckt sind, zumal bei glänzender Beleuchtung.

Stellt man zwei Spiegel unter einem Winkel zusammen, so erhält man so viele Bilder, als die Zahl der Grade des Winkels in 360 enthalten ist weniger eins; je spitzer also der Winkel ist, desto größer ist die Zahl der Bilder, die zusammen mit dem wirklichen Gegenstande eine kreisförmige Figur bilden. Man verabsäume nicht, die hierher gehörigen interessanten Versuche anzustellen. Es genügen dazu zwei Glasstreifchen von einem Zoll Breite und 4 bis 6 Zoll Länge, die man auf der Hinterseite mit Ruß oder Tusche schwärzt. Bequem ist es, wenn man dieselben an zwei langen Kanten mit einem Streifen Papier zusammenklebt, so daß man sie wie ein Buch beliebig weit öffnen kann. Stellt man sie nun senkrecht auf den Tisch und legt kleine Gegenstände, z. B. Papierschnitzel von verschiedener Gestalt, eine Erbse oder Glasperle u. s. w. zwischen sie, so erhält man niedliche Figuren.

§ 97. Einige auf dem Planspiegel beruhende Instrumente.

1. Das Kaleidoscop oder der Schöngucker.

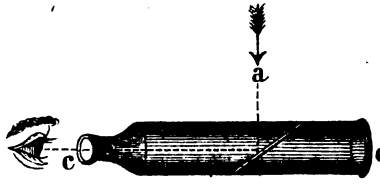
Bringt man die soeben besprochenen Winkelspiegel in eine Röhre von Pappe oder Holz, welche vorn eine enge Oeffnung zum Hineinsehen hat, hinten aber mit einer aus zwei Glasscheiben gebildeten Kapsel versehen ist, in welcher sich allerlei glänzende Kleinigkeiten befinden, so erscheint eine symmetrische Figur, die sich bei jedem Schütteln oder Umdrehen der Röhre anders gestaltet, und für Kattundruckerei u. s. w. brauchbare Muster giebt. Die äußere Glasscheibe ist matt geschliffen, damit sie zwar Licht einfallen läßt, aber das Entstehen von Bildern der außer-



Digitized by Google

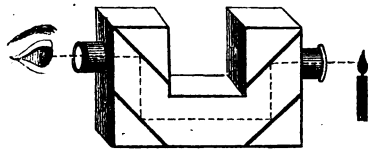
halb des Werkzeuges befindlichen Gegenstände verhindert. Das Instrument, welches oft als Spielerei für Kinder feilgeboten wird, heißt das Kaleidoscop. Gewöhnlich sind die Spiegel unter einem Winkel von 60 Grad zusammengestellt, so daß man jeden Gegenstand sechsmal sieht. Die Figur auf S. 226 zeigt zwei unter einem Winkel von 30^0 verbundene Spiegel (AC und BC); ein zwischen dieselben gelegtes Dreieck bildet den dargestellten Stern.

2. Der Operngucker oder das Polemoscop.



Eine Röhre mit enger Oeffnung zum Hineinsehen hat an einer Seite ein Loch, hinter welchem ein kleiner Spiegel mit einer Neigung von 45 Grad befestigt ist. Während man das Instrument in der Richtung ce vor das Auge hält, erblickt man die in a befindlichen Gegenstände; man kann also Objecte betrachten, ohne daß man nach ihnen hinsieht.

3. Das Zauberperspectiv.



Eine zweimal rechtwinkelig gebogene Röhre enthält vier unter Winkeln von 45 Grad geneigte Spiegel.

Man kann mittelst dieser Vorrichtung scheinbar durch eine Hand oder ein Brett sehen. Der Weg des Lichts ist aus der Figur klar ersichtlich.

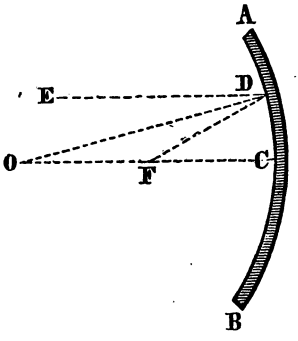
B. Der Hohlspiegel.

§ 98. Die Beschaffenheit eines Hohlspiegels.

Einen Hohlspiegel kann man sich als ein Uhrglas vorstellen, dessen innere Höhlung als Spiegelfläche dient, dessen äußere,

Digitized by Google

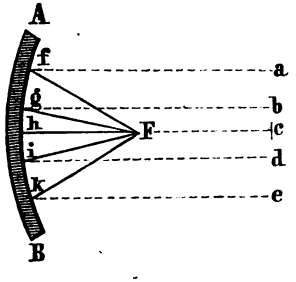
erhabene Fläche also mit Amalgam belegt oder wenigstens mit Tusche geschwärzt ist; ja man kann in Ermangelung eines besseren Hohlspiegels die folgenden Versuche wirklich mit einem solchen Uhrglase anstellen, besonders wenn dasselbe recht flach, mithin ein Abschnitt von einer recht großen Kugel ist. Den Mittelpunkt des Spiegels AB nennt man das optische Centrum (C), den Mittelpunkt der Kugel, von welcher der Spiegel ein Abschnitt ist, das geometrische Centrum (O), die gerade Linie (CO), welche diese beiden Punkte verbindet, heißt die Axe des Hohlspiegels.



Die bei dem Planspiegel aufgestellten Brechungsgesetze gelten auch für den Hohlspiegel. Unter dem Einfallslothe versteht man hier jeden die Spiegelfläche treffenden Lichtstrahl, der in seiner Verlängerung durch den geometrischen Mittelpunkt geht, z. B. OD. Ein in dieser Richtung auffallender Strahl wird in sich selbst zurückgeworfen.

§ 99. Der Brennpunkt (Fokus) des Hohlspiegels.

Fängt man mittelst eines Hohlspiegels die Sonnenstrahlen auf, so daß sie ihn in der Richtung seiner Axe oder parallel mit derselben treffen, z. B. af, bg u. s. w., so werden sie dergestalt zurückgeworfen, daß sie sich in Einem Punkte (F) vereinigen. Diesen Punkt findet man, wenn man ein Blatt Papier zwischen den Spiegel und die Sonne bringt, und dasselbe so lange hin und her bewegt, bis das Sonnenbild als ein möglichst kleiner hell erleuchteter



Digitized by Google

Kreis erscheint; er liegt fast in der Mitte zwischen dem optischen und geometrischen Centrum. Bei einem größeren Hohlspiegel erzeugen die zusammentreffenden Strahlen eine solche Hitze, daß das Papier in Brand gesetzt wird. Noch leichter kommt Feuerschwamm zum Brennen. Aus diesem Grunde heißt der betreffende Punkt der Brennpunkt (Fokus), und seine Entfernung von dem Mittelpunkte des Spiegels wird die Brennweite genannt. Wir prägen uns als erstes Gesetz für den Hohlspiegel ein:

Alle mit der Axe parallel einfallenden Strahlen wirft der Hohlspiegel in seinen Brennpunkt zurück.

§ 100. Der Hohlspiegel als Brennspiegel.

Aus dem Vorstehenden ergiebt sich, daß man den Hohlspiegel zur Erzeugung einer großen Hitze benutzen kann. Ein Hohlspiegel von 4 Fuß Durchmesser und 6 Fuß Brennweite erregt eine Hitze, welche die unmittelbare Einwirkung der Sonnenstrahlen beinahe 5000 mal an Stärke übertrifft. Mit solchen Brennspiegeln kann man Erde verglasen, Metalle schmelzen, entfernte Schiffe und Häuser in Brand setzen. Man kann übrigens auch eine große Menge kleiner Planspiegel so zusammenstellen, daß sie in ihrer Vereinigung eine Wölbung bilden, welche der eines Hohlspiegels ziemlich gleich kommt. Wahrscheinlich waren die Spiegel, mit denen der griechische Mathematiker Archimedes 212 v. Chr. die vor Syrakus liegende römische Flotte vernichtete, von solcher Art.

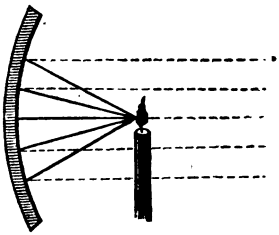
Hohlspiegel, welche Kugelabschnitte bilden, werfen jedoch nur diejenigen Strahlen genau in den Brennpunkt zurück, welche nicht allein mit der Axe parallel, sondern auch dieser sehr nahe einfallen. Die entfernteren werden um den Brennpunkt herum zurückgeworfen, so daß ihre Vereinigung nicht einen wirklichen Punkt, sondern einen größeren oder kleineren Brennraum bildet, wodurch natürlich auch die Wirkung geschwächt wird; daher erscheint uns auch das aufgefangene Sonnenbild nicht als ein Punkt, sondern als ein kleiner Kreis. Man kann aber auch Brennspiegel — doch mit weit größerer Schwierigkeit — so

Digitized by Google

schleifen, daß die mit der Axe parallel aufgefallenen Strahlen wirklich genau in den Brennpunkt fallen (*parabolische Spiegel*).

§ 101. Der Hohlspiegel als Erleuchtungsspiegel.

Wenn die mit der Axe des Hohlspiegels parallel auffallenden Lichtstrahlen in den Brennpunkt zurückgeworfen werden, so müssen umgekehrt die aus dem Brennpunkte auf den Spiegel fallenden Strahlen parallel mit der Axe zurückgeworfen werden. Steht demnach eine Lichtflamme im Brennpunkte eines Hohlspiegels, so sieht man diesen von einem glänzenden Lichtscheine erhellt, und die von ihm zurückgeworfenen Strahlen verstärken die Beleuchtung bedeutend. Daher versieht man Straßen- und Flurlaternen, Wandleuchter, das Licht der Leuchtthürme u. dgl. mit hohlspiegelartigen Blenden von glänzendem Metall.



§ 102. Die mittelst des Hohlspiegels entstehenden Bilder überhaupt.

Die Beschaffenheit der mittelst eines Hohlspiegels erzeugten Bilder lernt man am leichtesten kennen, wenn man die folgenden Versuche in einem finstern Zimmer anstellt, und als zu betrachtenden Gegenstand eine helle Lichtflamme wählt.

1) Man stelle das brennende Licht dicht vor den Spiegel: man erblickt ein aufrechtes vergrößertes Bild desselben, welches immer größer wird, wenn man das Licht langsam vom Spiegel entfernt. Dieses Bild liegt — wie bei dem Planspiegel — hinter dem Spiegel.
2) Hat man das Licht so weit entfernt, daß es gerade im Brennpunkte steht, so sieht man gar kein Bild; der Spiegel ist von hellem Glanze erfüllt (§ 101).

Digitized by Google

3) Man entfernt das Licht um ein Geringes weiter, so daß es zwischen dem Brennpunkte und dem geometrischen Centrum steht: es erscheint ein vergrößertes verkehrtes Bild. Dieses Bild liegt aber nicht hinter dem Spiegel, sondern vor demselben, und zwar weiter entfernt, als die Flamme. Es ist auch nicht bloß — wie ein Bild in einem Planspiegel oder wie das bei dem Versuche 1. erschienene Bild im Hohlspiegel — in der Einbildung des Beschauers vorhanden, sondern es schwebt wirklich in der Luft, und man kann es mittelst eines Blattes Papier auffangen, welches man so hält, daß das Licht zwischen Spiegel und Papier steht. Es erscheint dann auf dem Papiere, als wäre es auf dasselbe gemalt, und kann von jedem Standpunkte aus wahrgenommen werden.

4) Man stelle das Licht in das geometrische Centrum: es ist kein Bild vorhanden, denn es fällt mit dem Lichte selbst zusammen.

5) Man entfernt das Licht weiter vom Spiegel, so daß es noch außerhalb des geometrischen Centrums steht: es erscheint ein verkleinertes, verkehrtes Bild, welwelches, wie bei Versuch 3. wirklich in der Luft schwebt, aber zwischen Spiegel und Licht, in der Nähe des Brennpunktes, so daß man es dort mittelst eines zwischen Spiegel und Licht gehaltenen durchscheinenden Blattes Papier auffangen kann. Der letztgenannte Versuch läßt sich auch sehr schön bei vollem Tageslichte anstellen. Fängt man nämlich die von einem entfernten Gegenstande, von einem Thurme, Hause, Baume u. dgl. kommenden Lichtstrahlen auf, so erblickt man auf einem zwischen den Spiegel und diesen Gegenstand gehaltenen durchscheinenden (z. B. geölten) Papierblatte ein reizendes, im vollen Farbenschmucke prangendes, verkehrtes Bild.

Wir haben im Vorstehenden hauptsächlich zweierlei mittelst des Hohlspiegels erzeugte Bilder kennen gelernt, und zwar zunächst bei Versuch 1. ein solches, wie uns auch der Planspiegel

Digitized by Google

zeigte, indem es so weit hinter dem Spiegel erscheint, als sich der abgespiegelte Gegenstand vor demselben befindet. Dieses Bild ist aber, wie uns schon § 95. lehrte, nicht in der Wirklichkeit vorhanden, sonst müßte man es ja an dem betreffenden Orte hinter dem Spiegel sehen und es auf einem Blatt Papier auffangen können. Die Lichtstrahlen werden vielmehr nur so von dem Spiegel zurückgeworfen, daß das von ihnen getroffene Auge den Gegenstand dort sucht, von wo her die Strahlen zu kommen scheinen. Ein solches Bild besteht daher nur in der Vorstellung der in den Spiegel blickenden Person (des beschauenden Subjectes): deshalb nennt man es ein subjectives (oder auch ein geometrisches) Bild.

Anders ist es mit den bei Versuch 3 und 5. wahrgenommenen Bildern. Diese sind wirklich vorhandene Gegenstände (Objecte), und entstehen da, wo sich die zurückgeworfenen Strahlen vereinigen: sie heißen objective (physische) Bilder. Man nennt sie wohl auch Luftbilder, weil sie in der Luft schweben. Bei großen Hohlspiegeln von 2—4 Fuß Brennweite braucht man sie nicht mittelst einer Wand oder eines Papierschirms aufzufangen, sondern sie sind ohne Weiteres in der Luft sichtbar. Auf diese Weise werden von Taschenspielern und Betrügern sogenannte Geistererscheinungen veranstaltet. Der Hohlspiegel befindet sich in einem inwendig geschwärzten Kasten, innerhalb dessen auch der darzustellende Gegenstand — zwischen dem Brennpunkte und dem geometrischen Mittelpunkte — aufgestellt ist. Die erforderliche helle Beleuchtung empfängt derselbe durch zwei Lichtflammen, deren Strahlen durch kleine Blenden (Hohlspiegel) von dem großen Hohlspiegel abgehalten werden. Ist das abgespiegelte Object beweglich eingerichtet, so bewegt sich auch das Luftbild, und indem man jenes dem Spiegel mehr oder weniger nähert, bewirkt man die Vergrößerung, Verkleinerung, das Verschwinden und Wiedererscheinen des Bildes.

Nicht selten wird mittelst eines großen Hohlspiegels der interessante Versuch angestellt, daß man das objective Bild eines Blumenstraußes über einer leeren Blumenvase erscheinen läßt, so daß

Digitized by Google

man die Blumen in der Wirklichkeit zu sehen meint. Daß hierbei die Zeichnung verkehrt vor den Spiegel gestellt werden muß, ergiebt sich aus dem Vorhergesagten.

Somit hat sich uns der Hohlspiegel dargestellt:

1) als Spiegel überhaupt,
2) als Brennspiegel,
3) als Erleuchtungsspiegel,
4) als Zauberspiegel.

Fassen wir das Gelernte nun behufs des leichteren Behaltens noch einmal zusammen, so sprechen wir aus:

Der Hohlspiegel giebt:

a) ein aufrechtes, vergrößertes, subjectives Bild, wenn der Gegenstand sich zwischen Spiegel und Brennpunkt befindet;

b) ein verkehrtes, objectives Bild, wenn der Gegenstand weiter vom Spiegel entfernt ist, als der Brennpunkt, und zwar:

aa) ein vergrößertes Bild, wenn der Gegenstand dem Brennpunkte nahe (zwischen diesem und dem geometrischen Mittelpunkte befindlich) ist — je näher dem Brennpunkte der Gegenstand ist, desto größer ist das Bild, welches stets jenseits des Objects erscheint;

bb) ein verkleinertes Bild, wenn der Gegenstand weiter (über den geometrischen Mittelpunkt hinaus) von dem Spiegel entfernt ist; es erscheint in der Nähe des Brennpunktes, und rückt, sich vergrößernd, dem geometrischen Mittelpunkte näher, je mehr sich das Object von der entgegen gesetzten Seite her diesem nähert.

c) kein Bild,

aa) wenn der Gegenstand im Brennpunkte,

bb) wenn derselbe im geometrischen Centrum befindlich ist.

Digitized by Google

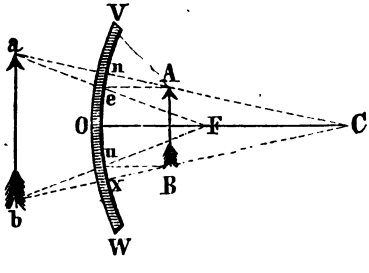
§ 103. Erklärung der mittelst des Hohlspiegels erzeugten Bilder.

Der wißbegierige Leser wird sich nicht damit begnügen, die so eben besprochenen Erscheinungen zu kennen, er wird vielmehr eine Erklärung derselben begehren. Diese soll ihm nunmehr gegeben werden.

1. Das subjective Bild, welches entsteht, wenn das Object sich zwischen dem Hohlspiegel und dem Brennpunkte befindet.

V W ist der Hohlspiegel, O sein optisches Centrum, F der Brennpunkt (Fokus), C der geometrische Mittelpunkt, mithin O F C die Axe des Spiegels; A B ist ein zwischen dem Spiegel und dessen Brennpunkte befindlicher Gegenstand.

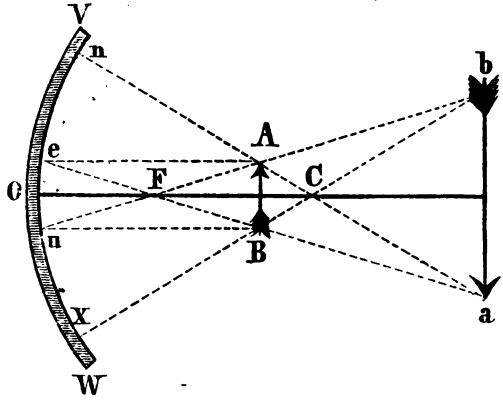
Von der Spitze A des Pfeiles fällt der Strahl A n senkrecht (§ 98) auf den Spiegel, und wird in sich selbst nach C zurückgeworfen. Ein anderer Strahl, A e, fällt parallel mit der Axe O C auf, und wird in den Brennpunkt F zurückgeworfen (§ 99). Ein Auge, welches von den beiden Strahlen n C und e F getroffen wird, sucht den Punkt A dort, von woher beide Strahlen zu kommen scheinen, es versetzt ihn also nach a (§ 95). In derselben Weise wirft der Punkt B den senkrechten Strahl B x und den mit der Axe parallelen B u; die zurückgeworfenen Strahlen u F und x B scheinen dem Auge von b herzukommen, und dorthin versetzt es den Punkt B. Mit den zwischen A und B liegenden Punkten verhält es sich in gleicher Weise; das Bild von A B erscheint mithin aufrecht und vergrößert hinter dem Spiegel in a b.



Digitized by Google

2. Das verkehrte, vergrößerte, objective Bild, wenn der Gegenstand sich dem Brennpunkte nahe, aber außerhalb der Brennweite befindet.

Die Bedeutung der Buchstaben ist dieselbe wie bei der vorigen Figur. Der von der Spitze A des Pfeiles kommende senkrechte Strahl A n wird durch C nach a zurückgeworfen; der mit der Axe parallele Strahl A e wird durch F nach a zurückgeworfen;



mithin vereinigen sich die reflectirten Strahlen wirklich in a und bilden dort den Punkt A ab. Ebenso wird, wie aus der Zeichnung klar ersichtlich ist, Punkt B in b abgebildet, und die Entstehung des verkehrten, vergrößerten, objectiven Bildes ist erklärt.

3. Das verkehrte, verkleinerte in der Nähe des Brennpunktes entstehende objective Bild eines entfernten Gegenstandes.

Seine Entstehung ergiebt sich aus der vorigen Figur, wenn a b als Object betrachtet wird; das Bild erscheint in A B durch wirklich sich vereinigende zurückgeworfene Strahlen, muß daher objectiv sein. (a n wird in sich selbst, a e parallel mit der Axe zurückgeworfen, A ist der Schneidepunkt.)

Digitized by Google

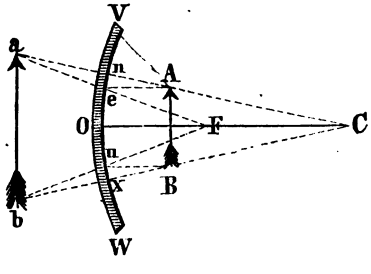
§ 103. Erklärung der mittelst des Hohlspiegels erzeugten Bilder.

Der wißbegierige Leser wird sich nicht damit begnügen, die so eben besprochenen Erscheinungen zu *kennen*, er wird vielmehr eine *Erklärung* derselben begehren. Diese soll ihm nunmehr gegeben werden.

1. Das subjective Bild, welches entsteht, wenn das Object sich zwischen dem Hohlspiegel und dem Brennpunkte befindet.

VW ist der Hohlspiegel, O sein optisches Centrum, F der Brennpunkt (Fokus), C der geometrische Mittelpunkt, mithin OFC die Axe des Spiegels; AB ist ein zwischen dem Spiegel und dessen Brennpunkte befindlicher Gegenstand.

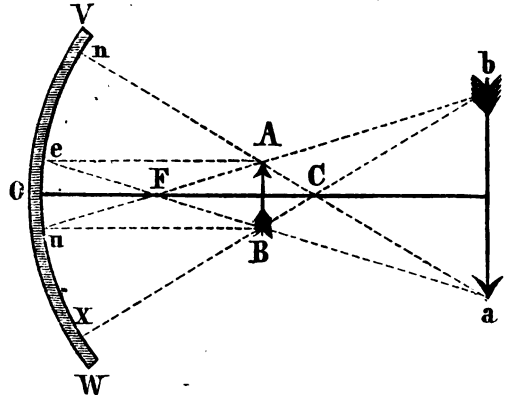
Von der Spitze A des Pfeiles fällt der Strahl An senkrecht (§ 98) auf den Spiegel, und wird in sich selbst nach C zurückgeworfen. Ein anderer Strahl, Ae, fällt parallel mit der Axe OC auf, und wird in den Brennpunkt F zurückgeworfen (§ 99). Ein Auge, welches von den beiden Strahlen nC und eF getroffen wird, sucht den Punkt A dort, von woher beide Strahlen zu kommen scheinen, es versetzt ihn also nach a (§ 95). In derselben Weise wirft der Punkt B den senkrechten Strahl Bx und den mit der Axe parallelen Bu; die zurückgeworfenen Strahlen uF und xB scheinen dem Auge von b herzukommen, und dorthin versetzt es den Punkt B. Mit den zwischen A und B liegenden Punkten verhält es sich in gleicher Weise; das Bild von AB erscheint mithin *aufrecht* und *vergrößert hinter dem Spiegel* in ab.



Digitized by Google

2. Das verkehrte, vergrößerte, objective Bild, wenn der Gegenstand sich dem Brennpunkte nahe, aber außerhalb der Brennweite befindet.

Die Bedeutung der Buchstaben ist dieselbe wie bei der vorigen Figur. Der von der Spitze A des Pfeiles kommende senkrechte Strahl A n wird durch C nach a zurückgeworfen; der mit der Axe parallele Strahl A e wird durch F nach a zurückgeworfen;



mithin vereinigen sich die reflectirten Strahlen wirklich in a und bilden dort den Punkt A ab. Ebenso wird, wie aus der Zeichnung klar ersichtlich ist, Punkt B in b abgebildet, und die Entstehung des verkehrten, vergrößerten, objectiven Bildes ist erklärt.

3. Das verkehrte, verkleinerte in der Nähe des Brennpunktes entstehende objective Bild eines entfernten Gegenstandes.

Seine Entstehung ergiebt sich aus der vorigen Figur, wenn a b als Object betrachtet wird; das Bild erscheint in A B durch wirklich sich vereinigende zurückgeworfene Strahlen, muß daher objectiv sein. (a n wird in sich selbst, a e parallel mit der Axe zurückgeworfen, A ist der Schneidepunkt.)

Digitized by Google

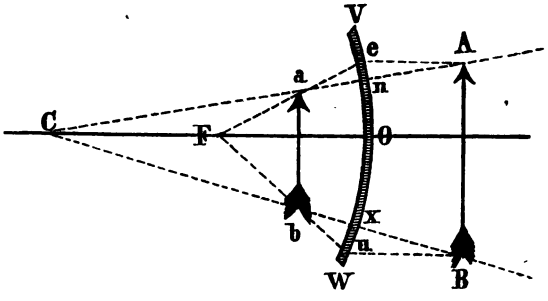
C. Der erhabene (Convex-) Spiegel.

§ 104.

Ist die Außenfläche einer Kugel oder eines Kugelabschnittes spiegelnd, so haben wir einen erhabenen Spiegel. Die in Gärten häufig angebrachten, innen mit einem (mittelst eines Gemenges von Ruß und Kleister bereiteten) schwarzen oder (aus gleichen Gewichtstheilen Blei, Zinn und Wismuth mit einem Zusatze von Quecksilber hergestellten) metallischen Ueberzuge versehenen Glaskugeln, ja die Kugel eines Thermometers, selbst ein blanker gewölbter Metallknopf oder ein innen geschwärztes Uhrglas sind solche erhabene Spiegel.

In einem erhabenen Spiegel ist das Bild stets aufrecht, verkleinert, hinter dem Spiegel (subjectiv). Je weiter der abgespiegelte Gegenstand entfernt ist, desto kleiner ist das Bild.

Diese Erfahrungssätze werden durch die nachstehende Figur bewiesen. Die Buchstaben haben die bekannte Bedeutung. Ein erhabener Spiegel hat keine wirklichen, sondern nur einen ein-



gebildeten (negativen) Brennpunkt F, der wie bei dem Hohlspiegel in der Axe, und zwar in der Mitte zwischen dem optischen und geometrischen Centrum liegt. Von der Spitze A des leuchtenden Objectes A B trifft den Spiegel der senkrechte Strahl A n, welcher,

Digitized by Google

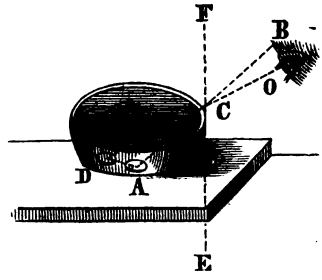
in sich selbst zurückgeworfen, aus C zu kommen scheint; der mit der Axe parallele Strahl A e wird so zurückgeworfen, als käme er aus dem Brennpunkte F; in den Durchschnittspunkt der beiden Strahlen, a, versetzt das Auge den Punkt A u. s. w.

III. Die Brechung (Refraction) des Lichtes oder die Dioptrik.

§ 105. Die Erscheinungen und Gesetze der Brechung.

Legt man auf den Boden einer leeren, flachen, undurchsichtigen Schale, z. B. einer Untertasse, ein Geldstück, entfernt sich hierauf so weit, daß man dasselbe nicht mehr sieht, und läßt dann durch eine andere Person Wasser in die Schale gießen: so sieht man das Geldstück wieder, es scheint in die Höhe gestiegen zu sein.

Um diese Erscheinung verstehen zu lernen, betrachten wir die nebenstehende Figur. A ist das auf dem Boden des zunächst leer gedachten Gefäßes liegende Geldstück. Da das Licht sich stets in geraden Linien bewegt (§ 89), so kann keiner der von A kommenden Lichtstrahlen das in O befindliche Auge treffen, denn auch der am tiefsten liegende Strahl A B geht oberhalb desselben hinweg. Wird aber die Schale mit Wasser gefüllt, so nimmt der Lichtstrahl in dem Augenblicke, da er aus dem dichteren Wasser in die dünnere Luft übergeht, plötzlich eine veränderte Richtung an: er wird gebrochen, und gelangt nun in der Richtung C O ins Auge. Da wir einen Gegenstand stets in derjenigen Richtung suchen, von welcher her wir den Lichteindruck empfangen, so erscheint uns das Geldstück in der Richtung O C D in D. Daraus folgt:



Digitized by Google

Wenn ein Lichtstrahl unter einem schiefen Winkel aus einem dichteren durchsichtigen Mittel in ein weniger dichtes übergeht, so wird er gebrochen.*

Wir müssen aber diese Brechung noch schärfer ins Auge fassen. Errichten wir an dem Punkte C, wo die Brechung stattfindet, ein Loth EF, welches das Einfallsloth heißt, so finden wir, daß der Lichtstrahl ACB von C aus dergestalt gebrochen wird, daß er sich weiter von der senkrechten Richtung, also von dem Lothe CF entfernt hat. So ist es in den meisten Fällen, wenn der Lichtstrahl aus einem dichteren in ein weniger dichtes Mittel übergeht. Wir sprechen darum das Gesetz aus:

Ein Lichtstrahl, welcher unter einem schiefen Winkel aus einem dichteren in ein weniger dichtes Mittel übergeht, wird in der Regel vom Einfallslothe hinweggebrochen.

Stellen wir uns nun einmal die Sache umgekehrt vor. O sei ein Punkt, von welchem aus ein Lichtstrahl in der Richtung OCD in das Wasser falle. Auch er wird in C bei dem Uebergange aus der dünneren Luft in das dichtere Wasser gebrochen, und würde ein Auge treffen, welches sich bei A im Wasser befände. Er hätte sich aber in diesem Falle der senkrechten Richtung des Einfallslothes CE genähert, oder wie wir sagen werden: er wäre zum Einfallslothe hingebrochen.

Ein Lichtstrahl, welcher unter einem schiefen Winkel aus einem dünneren in ein dichteres Mittel übergeht, wird in der Regel zum Einfallslothe hingebrochen.**

* Genau genommen wird nur ein Theil des einfallenden Lichtes gebrochen; ein anderer Theil wird zurückgeworfen (reflectirt) und ein dritter Theil wird verschluckt (absorbirt).

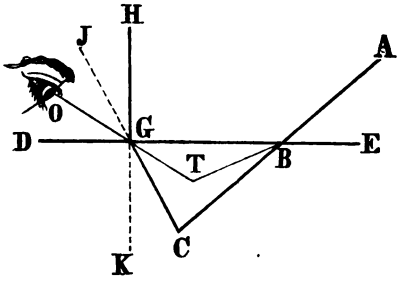
** Nur wenn das dünnere und dichtere Mittel von gleicher Beschaffenheit sind, gelten die vorstehenden Brechungsgesetze unbedingt, also z. B. wenn das Licht in dünnerer atmosphärischer Luft in dichtere übergeht und umgekehrt. Viele brennbare Körper hingegen, z. B. Terpentinöl, Spiritus u. a. brechen das Licht stärker als Wasser, obschon dieses größere Dichtigkeit besitzt. Besonders stark wird das Licht von dem (ebenfalls zu den brennbaren Körpern gehörenden) Diamant gebrochen.

Digitized by Google

Bei diesen Brechungserscheinungen befinden sich der einfallende Strahl, der gebrochene Strahl und das Einfallsloth stets in derselben Ebene.

Wir stellen noch einen Versuch an. Wenn wir ein gerades Stäbchen, z. B. einen Federhalter oder Bleistift, schräg in ein Glas Wasser tauchen, so erscheint er gebrochen; halten wir ihn aber senkrecht, so ist dies nicht der Fall.

DE sei die Oberfläche des Wassers, ABC der schräg eingetauchte gerade Stab, O das Auge. Der von C kommende



Lichtstrahl CG geht nicht in gerader Linie fort nach J, sondern er wird bei seinem Eintritte in das dünnere Mittel (die Luft) so gebrochen, daß er sich weiter von dem Einfallslothe HG entfernt und in der Richtung GO in das Auge gelangt. Dieses sucht den Punkt C in der geraden Richtung OG und versetzt ihn nach T, also der Oberfläche des Wassers näher.

Umgekehrt würde ein von dem leuchtenden Punkte O aus der Luft ins Wasser gehender Strahl OG nicht nach T gelangen, sondern in G zum Einfallslothe GK gebrochen werden und nach C kommen.

Daraus, daß der senkrecht ins Wasser gehaltene Stab nicht gebrochen erscheint, folgt, daß senkrecht aus einem durchsichtigen Mittel in ein anderes mehr oder weniger dichtes übergehende Strahlen keine Brechung erfahren.

Digitized by Google

Während es uns leicht ist, den Weg zu betrachten, welchen ein aus dem Wasser in die Luft kommender Strahl nach seiner Brechung nimmt, ist es schwierig, den entgegen gesetzten Fall dem Auge wirklich vorzuführen. Der berühmte Astronom Kepler hat jedoch eine passende Vorrichtung erfunden. Stellt man ein mit Wasser gefülltes Glas, welches aber einen völlig ebenen Boden haben muß, in den hellen Sonnenschein, und hält an die der Sonne zugekehrte Seite des Glases einen undurchsichtigen Körper, z. B. ein Brettchen oder ein Buch senkrecht, so nimmt man wahr, daß der von demselben geworfene Schatten außerhalb des Glases breiter ist, als auf dem Boden des Glases. Daraus folgt, daß die Sonnenstrahlen, welche schräg über das Brettchen hinweg ins Wasser fallen, dort weniger schräg sind, als diejenigen, welche in der Luft bleiben, daß jene also eine mehr senkrechte Richtung annehmen, folglich zum Einfallslothe gebrochen werden.

Auf der Brechung der Lichtstrahlen beruhen folgende bekannte Erscheinungen: ein schwimmender Fisch, auf den wir in schräger Richtung hinblicken, scheint der Oberfläche des Wassers näher zu sein, als er es wirklich ist; klare, ruhige Gewässer halten wir für weniger tief („Stille Wasser sind tief" — sagt daher das Sprüchwort); eine zum Theil mit einer Glasscheibe bedeckte gerade Linie erscheint am Rande der Scheibe aus ihrer Stelle gerückt u. s. w.

§ 106. Die astronomische Strahlenbrechung.

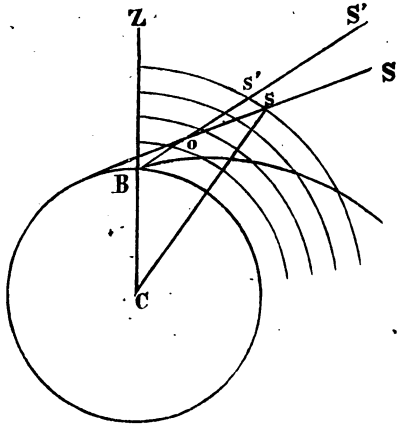
Man glaubt, daß der große, weite Weltraum zwischen den Sternen von einem äußerst feinen, durchsichtigen Stoffe, dem Aether*, erfüllt sei. Wenn nun ein Lichtstrahl von der Sonne oder einem Sterne schräg in unser Auge gelangt, so kann dies nicht in einer geraden Linie geschehen; denn sobald derselbe aus dem Aether in die Lufthülle (Atmosphäre) der Erde, also in ein

* Dieser Aether ist nicht zu verwechseln mit der in den Apotheken käuflichen brennbaren Flüssigkeit gleichen Namens.

Digitized by Google

dichteres Mittel, eintritt, wird er nach § 104. zum Einfallslothe hin gebrochen. Allein die Atmosphäre ist keineswegs überall von gleicher Dichtigkeit; sie wird immer dichter, je näher sie der Erde ist.

Der Lichtstrahl wird also fortwährend dergestalt gebrochen, daß er der senkrechten Richtung sich nähert, und er gelangt in einer krummen Linie in unser Auge. Wir versetzen aber bekanntermaßen jeden leuchtenden Gegenstand in diejenige Richtung, welche der Lichtstrahl in demselben Augenblicke hat, da er unser Auge trifft, gleichviel welche Wege derselbe früher gehabt haben könnte; daher sehen wir den Stern oder die Sonne stets höher am Himmel, als sie sich wirklich befinden, und nur senkrecht über uns stehende Sterne erblicken wir an ihrem wahren Orte.



Der Kreis, welchen uns die vorstehende Figur zeigt, stellt die Erde vor; C ist der Mittelpunkt der Erdkugel, B der Standpunkt eines an der Oberfläche derselben befindlichen Beobachters. Lichtstrahlen, welche senkrecht, von dem Scheitelpunkte (Zenith) desselben auf ihn herabkommen, werden nicht gebrochen, er sieht also einen in Z befindlichen Stern wirklich an dem Punkte Z. Anders ist es, wenn der Stern z. B. in S steht. So wie das

Digitized by Google

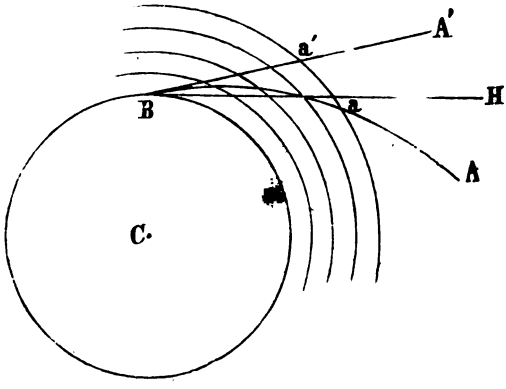
Licht desselben in s an die Grenze unserer Atmosphäre gelangt, also aus dem unendlich feineren Aether in die oberste, dünste Luftschicht übergeht, wird es von seinem geraden Wege abgelenkt, und zwar so, daß es sich dem Einfallslothe Cs nähert. Dies wiederholt sich bei dem jedesmaligen Eintritte in eine dichtere Luftschicht, so daß der Beobachter in B den Lichteindruck in der Richtung oB empfängt. Er sieht daher den Stern in der Richtung Bos'S', folglich höher, dem Scheitelpunkte näher, als der wahre Standort es ist. — Je niedriger der Stern am Horizonte steht, desto bedeutender ist die Verschiebung seines Standortes; je mehr er sich dem Scheitelpunkte nähert, desto geringer wird sie, bis sie im Zenith selbst gleich Null ist.

Diese Brechungserscheinungen, welche sich auf den Sternenhimmel beziehen, nennt man die astronomische Strahlenbrechung.

Durch die astronomische Strahlenbrechung werden unsere Tage verlängert, denn wir sehen vermöge derselben die Sonne schon, ehe sie in Wirklichkeit über unsern Horizont emporgestiegen ist, und am Abende sehen wir sie noch eine Zeitlang, wenn sie bereits unter denselben hinabgesunken ist. Je näher ein Ort den Polen liegt, desto bedeutender ist der Lichtgewinn. Während in Wien z. B. der Tag durch die astronomische Strahlenbrechung höchstens um $7^3/_4$ Minuten verlängert wird, sehen die Bewohner der Polarzonen die rings um den Horizont laufende Sonne noch tage-, ja wochenlang, wenn dieselbe in der Wirklichkeit bereits unter denselben gesunken ist, und die lange Nacht bereits eingetreten sein sollte. Ebenso beginnt der auf diese folgende Tag früher, als dies nach dem wahren Stande der Sonne der Fall sein würde. Die nachstehende Figur wird das Gesagte erklären.

BH ist der Horizont des in B befindlichen Beobachters; A ist der Stand der noch nicht über denselben emporgestiegenen, oder bereits unter ihn hinabgesunkenen Sonne. Die Strahlen derselben gelangen vermöge der fortwährenden Brechung in der krummen Linie AaB in das Auge, welches daher die nicht über dem Horizonte befindliche Sonne in der Richtung Ba'A' erblickt.

Digitized by Google



Indem durch diese Strahlenbrechung ein leuchtender Punkt um so höher gerückt scheint, je näher er sich dem Horizonte befindet, muß ja wohl auch der untere Rand der auf- oder untergehenden Sonne höher gehoben werden, als der obere, daher erscheint sie nicht kreisförmig, sondern stark zusammengedrückt. Mit dem Monde ist es derselbe Fall; und aus gleichem Grunde erscheint das ganze Himmelsgewölbe keineswegs als eine Halbkugel, sondern linsenförmig zusammengedrückt.

Bei einer Mondfinsterniß stehen Sonne, Erde und Mond in einer geraden Linie, so daß der Schatten der Erde in den Mond fällt und ihn verdunkelt. Dennoch geschieht es zuweilen, wenn zur Zeit einer Mondfinsterniß der Mond nahe unter dem Horizonte steht, daß man Sonne und Mond noch über dem Horizonte sieht, während doch erstere schon hinabgesunken, letzterer noch nicht heraufgestiegen sein sollte. Beide Gestirne werden durch die astronomische Strahlenbrechung über den Horizont emporgehoben.

Auch diejenigen Lichtstrahlen, welche von irdischen — besonders von weit entfernten — Gegenständen in unser Auge gelangen, kommen gebrochen an, weil sie durch Luftschichten von verschiedener Dichtigkeit gehen, so daß wir z. B. den Gipfel eines fernen Berges, die Spitze eines am Horizonte befindlichen Thurmes

Digitized by Google

nicht genau auf dem Orte erblicken, wo sie sich wirklich befinden, und man sieht z. B. an Meerengen oft Gegenstände des gegenüberliegenden Ufers, die sonst dem Auge nicht sichtbar sind, für einige Zeit erscheinen. Besonders häufig geschieht dies an der Straße von Messina, wo man Häuser, Thürme, Menschen und Thiere am jenseitigen Ufer erblickt, die sonst nicht gesehen werden können. Diese zauberhaften Bilder werden dort **Fata morgana** genannt. Auch an der englischen Küste bei Hastings sieht man zuweilen die zehn Meilen entfernte französische Küste, obschon eine beide Küsten verbindende gerade Linie die See durchschneidet.

§ 107. Die Spiegelung (vollständige oder totale Zurückwerfung) in Folge der Brechung.

Blickt man schräg von unten nach oben in ein gefülltes Wasserglas, so nimmt man eine interessante Erscheinung wahr. Die Oberfläche des Wassers glänzt gleich dem hellsten Metallspiegel; sie sieht wie eine Quecksilberfläche aus. Einen darüber gehaltenen Gegenstand, z. B. einen Finger, kann man schlechterdings nicht wahrnehmen; taucht man die Fingerspitze ins Wasser, so scheint der Spiegel an der betreffenden Stelle durchbohrt. Hält man ein Licht so, daß seine Strahlen von unten schräg ins Wasser fallen, so ist der Spiegel hell beleuchtet. Blickt man von oben herab in das Glas, so kann man einen an die Seitenwand desselben gehaltenen Gegenstand nicht sehen; schaut man dagegen von unten hinauf, so sieht man denselben deutlich abgespiegelt, und zwar in umgekehrter Lage. Besonders gut kann man dies wahrnehmen, wenn man in ein Blättchen Papier Figuren (Kreuze, Sterne ꝛc.) schneidet, und es an die Wand des Glases nahe unter den Wasserspiegel klebt, was durch Benetzung leicht zu bewirken ist.

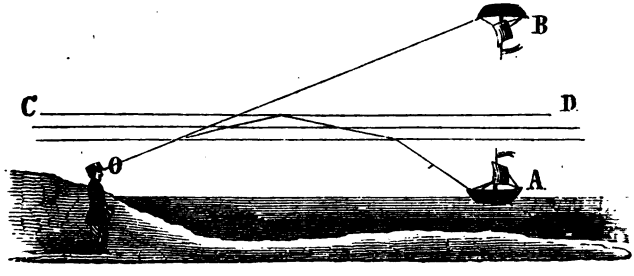
Die Ursachen dieser Erscheinungen sind leicht zu fassen. Ein in das Wasser fallender Lichtstrahl wird, wie wir wissen, bei seinem Austritt in die Luft vom Einfallslothe hinweggebrochen, und zwar wird, wenn der Einfallswinkel groß ist, auch der Brechungswinkel groß. Wird letzterer einem rechten Winkel gleich,

Digitized by Google

so können die Strahlen gar nicht mehr in die Luft eintreten, sondern sie müssen an dem Wasserspiegel hingehen; bei einem noch größeren Brechungswinkel aber müssen sie durch das Wasser zurückgeworfen werden ganz als ob sie von einem wirklichen, undurchsichtigen Spiegel von belegtem Glase oder von Metall reflectirt würden.

Wie durch diese vollständige Zurückwerfung an der Grenze einer Wasser- und Luftschicht Spiegelbilder entstehen, so können dieselben auch erscheinen, wenn zwei Luftschichten von sehr verschiedener Dichtigkeit einander begrenzen. Diese äußerst interessante Erscheinung wird Luftspiegelung genannt. Man sieht zuweilen auf dem Meere über einem entfernten Schiffe ein vollständiges aber verkehrtes Spiegelbild desselben in der Luft; in den glühenden Wüsten Afrika's aber spiegeln sich oft Gegenstände nach unten ab, als ständen sie an oder in einem Wasser.

Im ersteren Falle, bei der Abspiegelung nach oben, ist die der Meeresfläche zunächst befindliche Luftschicht, in welcher sich das Schiff und das Auge des entfernten Beobachters befinden, stark abgekühlt, also bedeutend dichter, als die höhere Luftschicht, und die schrägen Lichtstrahlen können daher, wegen der bedeutenden Brechung gar nicht austreten, sondern sie werden vollständig zurückgeworfen.

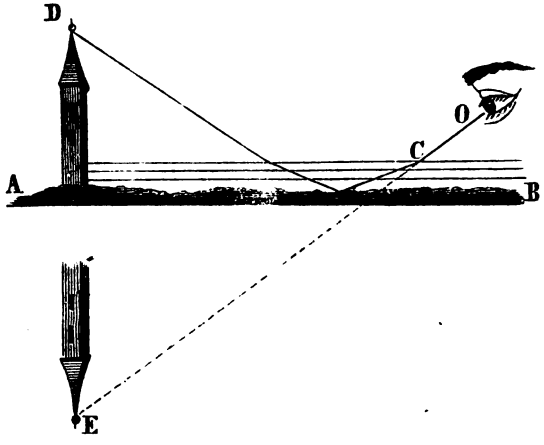


Ist nun A ein Schiff, so wird es von dem in O befindlichen Auge auf gewöhnliche Weise gesehen; zugleich werden aber die Lichtstrahlen an der durch CD angedeuteten Grenze der beiden

Digitized by Google

Luftschichten so zurückgeworfen, daß das Auge ein in der Höhe schwebendes verkehrtes Spiegelbild in B sieht.

Wie die Abspiegelung nach unten erfolgt, ergiebt die nachstehende Figur.



AB ist die Oberfläche der Erde, welche durch die Sonne so erhitzt ist, daß die ihr zunächst befindliche Luftschicht bedeutend wärmer und folglich — dem gewöhnlichen Verhältnisse entgegen — weit dünner ist, als die nächst höhere, in welcher sich das Auge des Beobachters O befindet. Der Beobachter sieht den Thurm zunächst auf gewöhnliche Weise. Zugleich aber werden die von der Thurmspitze D kommenden sehr schrägen Lichtstrahlen so zurückgeworfen, daß sie das Auge in der Richtung CO treffen; folglich muß dasselbe den Punkt D in E erblicken, also ein nach unten befindliches verkehrtes Spiegelbild wahrnehmen. Derjenige Theil des Gegenstandes, welcher der Erde am nächsten ist, wird in der Regel nicht abgespiegelt, daher ist eine Lücke zwischen dem wirklichen Objecte und dem Spiegelbilde, und die in der Wüste Reisenden glauben dort oft eine ersehnte Wasserfläche zu sehen.

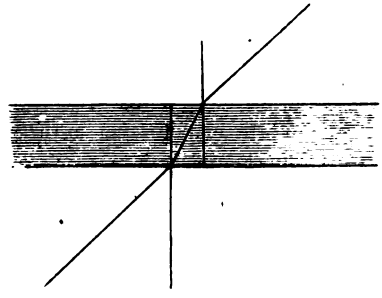
Durch die Bewegung des Wassers und der Luft erhalten auch die Bilder Bewegung und ein zauberhaftes Aussehen, wie

Digitized by Google

dies bei der § 105. erwähnten Fata morgana der Fall zu sein pflegt.

§ 108. Die Brechung der Lichtstrahlen durch ebene Glasscheiben.

Ein Lichtstrahl, welcher durch eine Fensterscheibe schräg in unser Auge gelangt, wird zweimal gebrochen, einmal bei seinem Eintritte aus der Luft in das Glas zum Einfallslothe, sodann bei seinem Austritte aus dem Glase in die Luft vom Einfallslothe. Der austretende Strahl ist daher mit dem eintretenden parallel, und nur bei sehr dickem Glase wird — wenn man schief hindurchblickt — eine merkliche Verschiebung des Ortes der Gegenstände stattfinden; sonst sieht man dieselben fast genau an dem Orte, wo sie sich wirklich befinden.



§ 109. Die Brechung der Lichtstrahlen durch ein dreiseitiges Glasprisma.

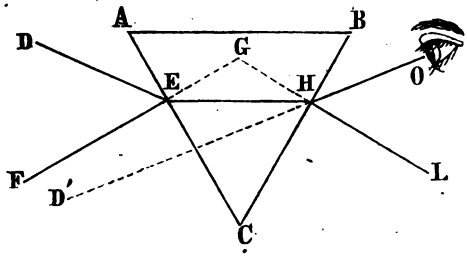
Um diese interessanten Brechungserscheinungen zu beobachten, bedarf man einer dreiseitigen, gleichseitigen Säule von massivem Glase, eines gläsernen Prisma. Wenn ein solches — welches auch für die weiter unten folgende Farbenlehre nothwendig ist — nicht zu Gebote steht, der kann sich auf folgende — in „Krüger's Schule der Physik“ angegebene — Weise einen nothdürftigen Ersatz verschaffen. Man kittet zwei gleichgroße Glasstreifen (etwa 5 Zoll lang und $1^1/_2$ Zoll breit) an ihren unteren langen Kanten, die man über der Spirituslampe erwärmt hat, mit Siegellack zusammen, so daß ihre oberen Kanten $1^1/_2$ Zoll weit von einander stehen. Die beiden Enden schließt man durch dreieckige Brettchen, von denen jede Kante $1^1/_2$ Zoll

Digitized by Google

lang ist; sie werden ebenfalls mit Siegellack festgekittet. Den auf diese Weise hergestellten kleinen Trog füllt man mit Wasser, und hält ihn beim Gebrauche so, daß die gekitteten langen Kanten nach unten kommen, und auf die Nase gesetzt werden. (Mittelst solcher hohler Prismen untersucht man insbesondere auch das Brechungsvermögen verschiedener Flüssigkeiten und Luftarten.)

Blickt man nun durch das Prisma, so sieht man an allen Gegenständen farbige Ränder, von denen später die Rede sein wird. Für jetzt beschäftiget uns nur die Erscheinung, daß man alle Gegenstände *tiefer* sieht, als sie sich wirklich befinden, und zwar desto tiefer, je weiter seitwärts sie liegen.

Auch durch das Prisma wird, wie bei ebenen Glasscheiben, jeder Lichtstrahl zweimal gebrochen; bei seinem Eintritte *zum* Einfallslothe, bei seinem Austritte *vom* demselben.



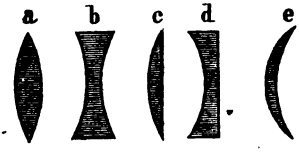
ABC sei der senkrechte Durchschnitt des Prisma; DE ein in E auffallender Strahl. Derselbe wird zweimal aufwärts gebrochen; zuerst *zum* Einfallslothe FEG, daher gelangt er nach H; dort wird er *vom* Einfallslothe LHG gebrochen und trifft das Auge in O, welches den Punkt D in der Richtung OH sucht, denselben also in D' erblickt, mithin bedeutend vertieft. Wenn man demnach einen Gegenstand durch das Prisma wahrnimmt, und dasselbe bei unveränderter Richtung der Augen wegnimmt, so sieht man nicht nach dem Gegenstande, sondern unter demselben hinweg. — Je schräger ein Lichtstrahl auf das Prisma fällt, desto bedeutender ist die Brechung, mithin die Erniedrigung des Gegenstandes; daher erscheinen die wagrechten Linien der

Digitized by Google

Fensterkreuze, der Simse eines Gebäudes u. s. w. als Bogen mit der erhabenen Seite nach oben.

§ 110. Gekrümmte Gläser oder Linsen.

Besonders merkwürdig und wichtig ist die Brechung des Lichtes durch gekrümmt geschliffene Gläser, die man insgesammt Linsen nennt, weil die eine Art derselben die Gestalt eines Linsenkornes hat. Ein Brennglas und ein Glas aus der Brille eines Kurzsichtigen sind die beiden Hauptformen der hier zu betrachtenden geschliffenen Gläser. Das Brennglas ist erhaben (convex), das Brillenglas für einen Kurzsichtigen hohl (concav) geschliffen. Beide sind aus Kugelabschnitten gebildet. Gewöhnlich sind die geschliffenen Gläser auf beiden Flächen gleich gestaltet, also beiderseits erhaben (biconvex) [a], oder beiderseits hohl (biconcav) [b]; zuweilen ist jedoch die eine Fläche eben, dann heißen die Gläser planconvex [c], oder planconcav [d]. Auch kann eine Seite erhaben, die andere hohl sein (convex-concav) [e]. Wir werden nur die doppelterhabenen (biconvexen) und die doppelthohlen (biconcaven) Linsen betrachten.



Die Axe einer Linse ist die gerade Linie, welche die beiden Mittelpunkte der Kugeln, von denen die Linsenflächen Abschnitte sind, mit einander verbindet. Sie geht bei einer gut gearbeiteten Linse zugleich durch den Mittelpunkt (das optische Centrum) derselben, und steht auf beiden Flächen senkrecht.

§ 111. Die Brechung der Lichtstrahlen durch erhabene Linsen.

Halten wir ein Brennglas so gegen die Sonne, daß ihre Strahlen parallel mit der Axe auffallen, so vereinigen sich dieselben auf der entgegen gesetzten Seite in einem blendend weißen Punkte, der ein Blatt Papier, ein Stückchen Feuerschwamm oder einen andern brennbaren Körper, mit welchem wir ihn auffangen, entzündet. Wir nehmen daher bei dem Brennglase ganz dieselbe

Digitized by Google

Erscheinung wahr, welche uns (§ 99) der Hohlspiegel zeigte. Das Brennglas hat, wie dieser, einen Brennpunkt (Fokus), dessen Entfernung von dem optischen Mittelpunkte die Brennweite heißt; ja das Brennglas hat zwei Brennpunkte, auf jeder Seite einen, denn das Sonnenbild entsteht ebenso, wenn das Glas umgekehrt genommen wird. Zugleich ist es uns klar, daß auch hier die mit der Axe parallel auffallenden Lichtstrahlen in dem Brennpunkte sich vereinigen, nur daß dies bei dem Hohlspiegel durch Zurückwerfung (Reflexion), bei dem Brennglase durch Brechung (Refraction) geschieht. Wir prägen uns demnach ein:

Durch eine erhabene Linse (ein Brennglas) werden die mit der Axe parallel einfallenden Strahlen so gebrochen, daß sie sich in dem Brennpunkte vereinigen.

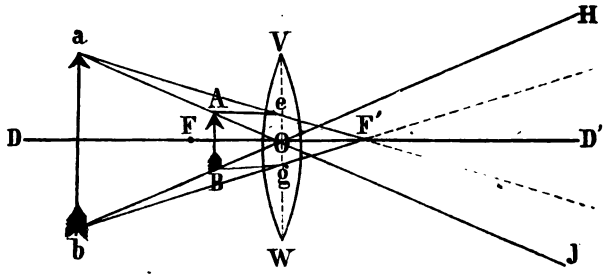
Aus diesem Grunde heißen die erhabenen Gläser auch Sammelgläser.

Stellten wir bei dem Hohlspiegel ein brennendes Licht in den Brennpunkt, so erhielten wir kein Bild, vielmehr erschien die ganze Fläche des Spiegels hell erleuchtet, weil die vom Brennpunkte aus in den Spiegel fallenden Strahlen parallel mit der Axe zurückgeworfen wurden. Ganz dasselbe geschieht bei einem erhaben geschliffenen Glase mittelst der Brechung.

Wie der Hohlspiegel von einem innerhalb seiner Brennweite befindlichen Gegenstand ein aufrechtes, vergrößertes, subjectives Bild giebt, so auch die erhabene Linse, daher dient sie als Vergrößerungs- und Leseglas.

Ist VW die Linse, AB der betrachtete Gegenstand, DD' die Axe, FF' der beiderseitige Brennpunkt, so wird der von A parallel mit der Axe einfallende Strahl Ae in dem Brennpunkt F' gebrochen, so daß er in der Richtung eF' in das Auge gelangt; der senkrecht einfallende Strahl AO geht ungebrochen durch das Glas, und trifft das Auge in der Richtung AOJ. Das von beiden Strahlen berührte Auge versetzt den Punkt A in denjenigen Punkt, aus welchem dieselben herzukommen scheinen, also nach a; in gleicher Weise versetzt es den Punkt B

Digitized by Google

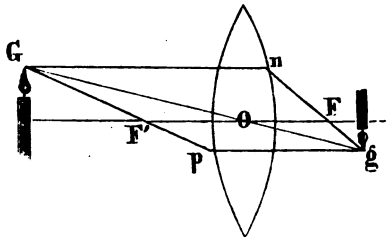


nach b, mithin stellt sich ihm AB in ab dar: subjectiv, aufrecht, auf derselben Seite des Glases, vergrößert und weiter entfernt.

Das oben betrachtete kleine Sonnenbild, welches sich im Brennpunkte zeigte, war offenbar ein physisches (objectives), da es aufgefangen werden konnte. Es erschien auf der der Sonne entgegen gesetzten Seite des Glases. Solche physische Bilder erhält man mittelst des Brennglases von allen Gegenständen, welche jenseits des Brennglases (außerhalb der Brennweite) liegen. Hält man z. B. das Brennglas gegen das Fenster, so entsteht von den draußen befindlichen Gegenständen ein verkehrtes und verkleinertes Bild, welches man — gleich dem Sonnenbilde und den physischen Bildern des Hohlspiegels — auffangen kann. (Die durch eine erhabene Linse erzeugten objectiven Bilder lassen sich weit leichter auffangen, als die mittelst eines Hohlspiegels erzeugten, weil sie bei letzterem auf derselben Seite entstehen, wo sich der Gegenstand befindet, während sie bei ersterer auf der entgegengesetzten Seite entstehen.) Je näher der Gegenstand dem Brennpunkte ist, desto größer erscheint das verkehrte Bild, und desto entfernter ist der Punkt, wo es aufgefangen werden kann.

Nach den bereits besprochenen Zeichnungen ist die auf folgender Seite befindliche an sich klar. Ist G die Spitze einer Lichtflamme, so wird Strahl Gn (parallel mit der Axe einfallend) in den Brennpunkt F gebrochen, Strahl GO (senkrecht einfallend) geht ungebrochen fort; in g vereinigen sich die Strahlen

Digitized by Google



und bilden die Flammenspitze ab; es entsteht ein verkehrtes, verkleinertes, dem Brennpunkt nahes, objectives Bild. — Kehren wir den Fall um, indem wir g als Gegenstand annehmen, so muß sich der Punkt g vermittelst der Strahlen gpF'G und GOg in G darstellen.

Fassen wir das Vorstehende zusammen, so ergiebt sich, daß wir mittelst einer erhabenen Linse erhalten:

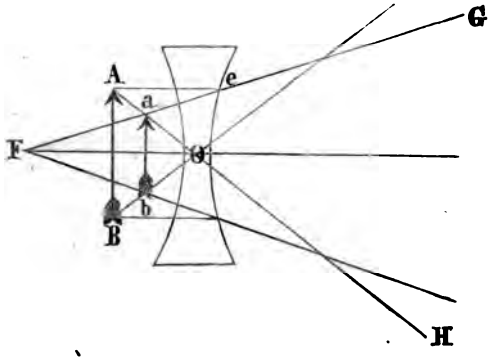
1) ein aufrechtes, vergrößertes, subjectives Bild — wenn das Object innerhalb der Brennweite liegt;
2) kein Bild — wenn das Object im Brennpunkte befindlich ist;
3) ein verkehrtes, objectives Bild — wenn das Object außerhalb der Brennweite liegt, und zwar:
   a) ein vergrößertes — wenn das Object dem Brennpunkte nahe ist;
   b) ein verkleinertes — wenn es demselben fern liegt.

§ 112. Die Brechung der Lichtstrahlen durch Hohlgläser.

Während eine erhabene Linse in ihren Wirkungen einem Hohlspiegel gleicht, zeigt eine hohle Linse dieselben Erscheinungen wie ein erhabener Spiegel (§ 103): sie giebt ein subjectives, aufrechtes, verkleinertes Bild, welches sich innerhalb der Brennweite, mit dem betrachteten Gegenstande auf derselben Seite des Glases befindet, und dem Beobachter näher ist, als dieser.

Digitized by Google

Die parallel mit der Axe einfallenden Lichtstrahlen werden nicht vereinigt, sondern so zerstreut, als kämen sie alle aus Einem Punkte, den man den negativen Brennpunkt oder den Zerstreuungspunkt nennt.



Von der Spitze A des Objectes AB geht der senkrecht auffallende Strahl AO ungebrochen nach H; der mit der Axe parallele Strahl Ae wird so nach G gebrochen, als käme er aus dem Zerstreuungspunkte F; das Auge, welches die beiden Strahlen eG und OH empfängt, sieht das Bild von A in a, wo sich die Strahlen schneiden. In gleicher Weise stellt sich B in b dar.

Da eine hohle Linse die Lichtstrahlen nie vereinigt, so kann sie auch keine objectiven Bilder erzeugen, sie ist ein Zerstreuungsglas, während die erhabene Linse ein Sammelglas ist.

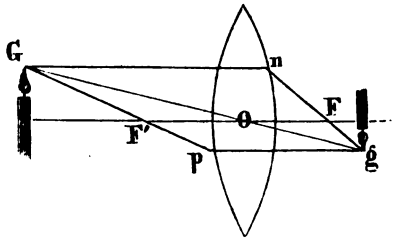
IV. Das menschliche Auge und die wichtigsten optischen Instrumente.

A. Das Auge und das Sehen.

§ 113.

Unser Auge gleicht seiner Form nach einer Kugel, von welcher an der Vorderseite durch einen senkrechten Schnitt ein Stück

Digitized by Google



und bilden die Flammenspitze ab; es entsteht ein verkehrtes, verkleinertes, dem Brennpunkt nahes, objectives Bild. — Kehren wir den Fall um, indem wir g als Gegenstand annehmen, so muß sich der Punkt g vermittelst der Strahlen gpF'G und GOg in G darstellen.

Fassen wir das Vorstehende zusammen, so ergiebt sich, daß wir mittelst einer erhabenen Linse erhalten:

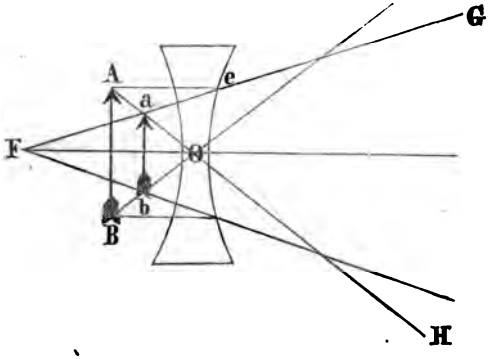
1) ein aufrechtes, vergrößertes, subjectives Bild — wenn das Object innerhalb der Brennweite liegt;
2) kein Bild — wenn das Object im Brennpunkte befindlich ist;
3) ein verkehrtes, objectives Bild — wenn das Object außerhalb der Brennweite liegt, und zwar:
   a) ein vergrößertes — wenn das Object dem Brennpunkte nahe ist;
   b) ein verkleinertes — wenn es demselben fern liegt.

§ 112. Die Brechung der Lichtstrahlen durch Hohlgläser.

Während eine erhabene Linse in ihren Wirkungen einem Hohlspiegel gleicht, zeigt eine hohle Linse dieselben Erscheinungen wie ein erhabener Spiegel (§ 103): sie giebt ein subjectives, aufrechtes, verkleinertes Bild, welches sich innerhalb der Brennweite, mit dem betrachteten Gegenstande auf derselben Seite des Glases befindet, und dem Beobachter näher ist, als dieser.

Digitized by Google

Die parallel mit der Axe einfallenden Lichtstrahlen werden nicht vereinigt, sondern so zerstreut, als kämen sie alle aus Einem Punkte, den man den negativen Brennpunkt oder den Zerstreuungspunkt nennt.



Von der Spitze A des Objectes AB geht der senkrecht auffallende Strahl AO ungebrochen nach H; der mit der Axe parallele Strahl Ae wird so nach G gebrochen, als käme er aus dem Zerstreuungspunkte F; das Auge, welches die beiden Strahlen eG und OH empfängt, sieht das Bild von A in a, wo sich die Strahlen schneiden. In gleicher Weise stellt sich B in b dar.

Da eine hohle Linse die Lichtstrahlen nie vereinigt, so kann sie auch keine objectiven Bilder erzeugen, sie ist ein Zerstreuungsglas, während die erhabene Linse ein Sammelglas ist.

IV. Das menschliche Auge und die wichtigsten optischen Instrumente.

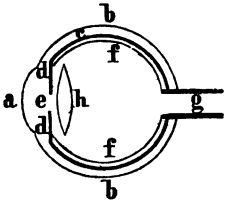
A. Das Auge und das Sehen.

§ 113.

Unser Auge gleicht seiner Form nach einer Kugel, von welcher an der Vorderseite durch einen senkrechten Schnitt ein Stück

Digitized by Google

hinweggenommen und durch einen stärker gewölbten Kugelabschnitt ersetzt ist. Letzterer wird durch die durchsichtige Hornhaut a gebildet, während der übrige Theil der Kugel (des Augapfels) aus der undurchsichtigen harten oder weißen Haut b besteht. Diese ist inwendig mit der dunklen Aderhaut c bekleidet, welche innen mit schwarzem Schleim überzogen ist, wodurch eine Zurückwerfung der Lichtstrahlen im Innern des Auges verhindert wird. Vorn aber, hinter der Hornhaut, ist die grau, braun oder blau gefärbte Regenbogenhaut (Iris) d senkrecht ausgespannt. Sie ist in der Mitte durchbohrt, und die Oeffnung e, welche als eine schwarze Scheibe erscheint, heißt das Sehloch oder die Pupille. Bei zu starkem Lichte zieht sich die Pupille zusammen, bei mangelndem Lichte erweitert sie sich. — Innerhalb der Aderhaut befindet sich die Netzhaut (Retina) f. Sie ist die flächenartige Ausbreitung des aus dem Gehirn kommenden und hinten in den Augapfel eintretenden Sehnerven g.



Die innere Höhlung des Augapfels wird durch die Regenbogenhaut in zwei Kammern getheilt, eine kleinere vordere und eine größere hintere, welche durch die Pupille mit einander in Verbindung stehen. Gleich hinter der Regenbogenhaut liegt ein wasserheller Körper h, der die Gestalt einer erhabenen Glaslinse (eines kleinen Brennglases) hat, und die Krystalllinse genannt wird. Zwischen ihr und der durchsichtigen Hornhaut befindet sich die wässerige Feuchtigkeit, in der Hinterkammer aber die durchsichtige Glasfeuchtigkeit oder der Glaskörper.

Den Bau des Auges kann man leicht an dem Auge eines geschlachteten Thieres, z. B. eines Kalbes, studiren.

Die gerade Linie, welche mitten durch die Pupille und durch die Krystalllinse geht, heißt die Augenaxe. Wie mittelst eines erhaben geschliffenen Glases werden die durch das Sehloch einfallenden Lichtstrahlen von der Hornhaut, der wässerigen Feuch-

Digitized by Google

tigkeit, der Kryſtalllinſe und dem Glaskörper gebrochen, und es entſteht auf der Netzhaut ein verkleinertes, verkehrtes Bild des Gegenſtandes. Daß dies wirklich der Fall ſei, kann man am leichteſten an dem Auge eines getödteten weißen Kaninchens ſehen, da dieſem die ſchwarze Aderhaut fehlt, und die weiße Haut an der Hinterſeite durchſichtig iſt. Läßt man die Strahlen einer Lichtflamme von vorn durch die Hornhaut in ein ſolches Auge fallen, ſo erblickt man an der Hinterwand das verkehrte und verkleinerte Bild derſelben. Auf welche Weiſe nun aber der Eindruck von dieſem Bilde mittelſt des Sehnerven dem Geiſte zugeführt, und von dieſem empfunden werde, dies zu erklären, iſt noch Keinem gelungen.

Die ſchwerſten Krankheiten führen den Namen Staar. Der graue Staar iſt eine Trübung der Kryſtalllinſe. Er iſt heilbar. Der Arzt durchſticht mit einem ſcharfen Inſtrumente die Hornhaut und ſchiebt die verdorbene Kryſtalllinſe zur Seite. An deren Stelle übernehmen nun die Feuchtigkeiten des Auges das Geſchäft der Strahlenbrechung, doch bedarf der Operirte in den meiſten Fällen eines ſtark erhabenen Linſenglaſes, um wieder deutlich zu ſehen. Der ſchwarze Staar iſt ein Stumpf- und Unempfindlichwerden des Sehnerven, folglich der Netzhaut; er gilt für unheilbar. Der ſeltnere grüne Staar tritt in Folge der Verderbniß des Glaskörpers ein.

Die Lehre von dem Sehen mit den Augen enthält viel Schweres und zum Theil Unerklärtes. Nur einige wichtige Punkte können hier hervorgehoben und beſprochen werden.

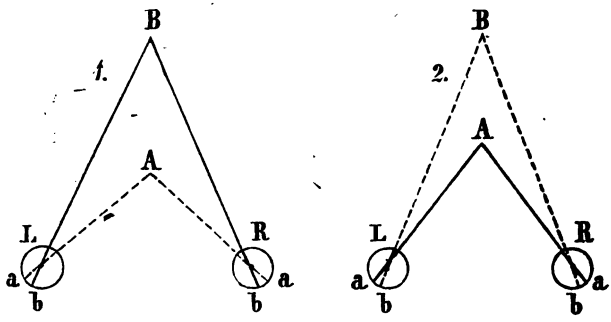
1) Wir ſehen die Gegenſtände aufrecht, obſchon ihr Bild auf der Netzhaut verkehrt iſt. Unſer Verſtand verlegt das auf der Netzhaut entſtandene Bild nach Außen, und tauſend wiederholte Erfahrungen haben uns in dieſem Urtheile ſo ſicher gemacht, daß wir eigentlich von dem Vorgange auf der Netzhaut nichts empfinden, ſondern ſtatt der Wirkung ſogleich die Urſache derſelben auffaſſen. Wir ſuchen den Gegenſtand in der Richtung des empfangenen Lichteindruckes, und verfolgen den die Netzhaut unten treffenden Strahl durch den Kreuzungspunkt

Digitized by Google

nach oben, den oben auf die Netzhaut fallenden Strahl nach unten, so daß wir den verkehrt abgebildeten Gegenstand in seiner richtigen Lage erblicken.

2) Wir sehen die Gegenstände einfach, obgleich jedes Auge ein Bild derselben empfängt. Wenn wir die Axen beider Augen auf einen nicht zu nahen Gegenstand richten, so fällt das Bild desselben in beiden Augen auf gleichgelegene Stellen der Netzhaut, beide Bilder führen uns auf die gleichen Punkte, von denen die empfangenen Lichtstrahlen ausgehen, und da in beide Augen die Aeste Eines Stammes, des Sehnerven, führen, so empfängt die Seele nur einen einfachen Eindruck von dem Doppelbilde. Uebrigens kann man es bewirken, daß man einen Gegenstand doppelt sieht. Hält man z. B. einen Finger oder ein schmales Streifchen Papier senkrecht vor das Gesicht, etwa in der Entfernung eines Fußes, während man die Augen auf einen entfernten Gegenstand richtet, so sieht man den Finger oder das Papierstreifchen doppelt. Dasselbe erfolgt, wenn wir einen Augapfel nach der Seite drücken, während wir einen nahen schmalen Körper betrachten. Sehr leicht gelingt der Versuch des Doppelsehens, wenn man auf jedes von zwei schmalen Papierstreifchen einen starken schwarzen Punkt macht, und sie beobachtet, indem man das eine Papier etwa einen, das andere zwei Fuß vom Auge entfernt hält. Fixirt man den vorderen Punkt mit den Augen, so erscheint der hintere doppelt, richtet man die Augenaxen fest auf den hinteren, so sieht man den vorderen verdoppelt. — Wir sehen nämlich den Gegenstand doppelt, wenn sein Bild in jedem Auge auf eine andere Selle der Netzhaut fällt. Daß dies in dem vorliegendem Falle geschieht, ergiebt sich aus den beiden auf S. 257 stehenden Figuren, in denen L und R die Augen, A und B die beobachteten Punkte vorstellen. Die erste Figur zeigt, daß, wenn B ins Auge gefaßt wird, die von diesem Punkte kommenden Strahlen B b in beiden Augen auf die Mitte der Netzhaut fallen, während von den von A ausgehenden Strahlen A a der eine links, der andere rechts von dem Mittelpunkte der Netzhaut abgebildet

Digitized by Google



wird. Der Eindruck ist daher in jedem Auge ein anderer, und der Gegenstand A wird doppelt gesehen. Die zweite Figur stellt den umgekehrten Fall dar.

3) Es giebt einen Punkt im Auge, auf welchem kein Bild entsteht. Macht man auf ein Blättchen Papier zwei starke Punkte neben einander, welche etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll entfernt sind, und schließt das rechte Auge, während man mit dem linken den rechts gelegenen Punkt genau fixirt: so verschwindet der links befindliche Punkt, wenn man das Blatt dem Auge bis etwa auf 6 Zoll nähert, obschon man ihn bei größerer oder geringerer Entfernung deutlich sieht. Kehrt man den Versuch um, so verschwindet der rechts gelegene Punkt in gleicher Weise.

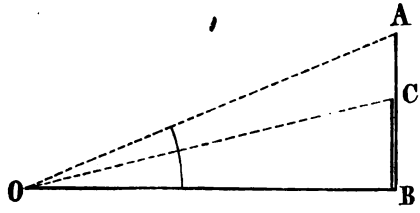
Genaue Untersuchungen haben ergeben, daß in dem Falle, wo man das Bild nicht sieht, dies auf demjenigen Punkte der Netzhaut sich darstellt, wo der Sehnerv eintritt. Man hielt früher diesen Punkt der Netzhaut für völlig unempfindlich, und nannte ihn „den blinden Punkt“ (punctum coecum); die wahre Ursache des Verschwindens des Bildes liegt aber darin, daß der auf den umliegenden Theilen der Netzhaut hervorgebrachte Lichteindruck sich dieser höchst empfindlichen Stelle sehr leicht mittheilt und den dunklen Punkt verschwinden läßt.

4) Die scheinbare Größe der Gegenstände hängt von dem Gesichtswinkel ab, unter welchem wir sie erblicken. Blicken wir im Freien nach einem am Horizonte

Digitized by Google

sichtbaren Thurme, so können wir denselben für unser Auge gänzlich verdecken, wenn wir einen Finger in geringer Entfernung vor dasselbe halten; das Auge sieht mithin den nahen Finger in diesem Falle größer als den entfernten Thurm. Der kleine — aber der Erde nahe — Mond erscheint uns eben so groß, als die Millionenmal größere — aber ungleich weiter entfernte — Sonne, und bei einer totalen Sonnenfinsterniß verschwindet die Sonnenscheibe gänzlich hinter der Mondscheibe. Ein naher Baum erscheint dem Auge höher, als ein entfernter hoher Berg. Ein großer Vogel, der sich nahe vor uns in die Luft schwingt, wird für uns immer kleiner, je höher er kommt, und entschwindet endlich unsern Blicken ganz.

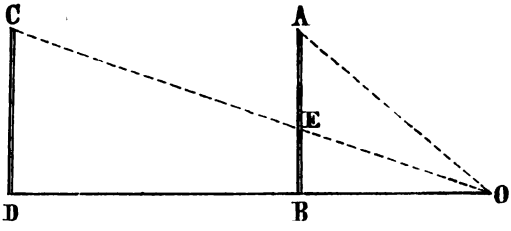
Der Grund dieser Erscheinung beruht auf dem Gesichtswinkel, unter welchem wir die Gegenstände wahrnehmen. Der Gesichtswinkel ist derjenige Winkel, welchen die von den äußersten Punkten eines Gegenstandes kommenden Lichtstrahlen in unserm Auge bilden. Derselbe richtet sich bei Gegenständen von gleicher Entfernung nach der Größe derselben. Der Stab AB erscheint



uns unter dem Gesichtswinkel AOB, der eben so weit entfernte kleinere Stab CB unter dem Gesichtswinkel COB; daher sehen wir CB kleiner als AB.

Mit zunehmender Entfernung des Gegenstandes nimmt die Größe des Gesichtswinkels, mithin die scheinbare Größe eines Gegenstandes ab. Den um BO (s. Fig. auf S. 259) von unserm Auge entfernten Gegenstand AB sehen wir unter dem größeren Gesichtswinkel AOB, während uns ein eben so hoher Gegen-

Digitized by Google



stand CD, welcher um DO von uns entfernt ist, unter dem kleineren Gesichtswinkel COD erscheint.

Daher vermag eben auch ein kleinerer naher Gegenstand einen entfernten größeren zu verdecken, wenn uns beide unter gleichem Gesichtswinkel erscheinen. Ein Stab z. B. von der Höhe BE, welcher um BO von uns entfernt ist, verdeckt uns den weit größeren, aber um DO entfernten Stab CD.

Aus diesem Grunde scheinen Alleen von Bäumen, die Häuserreihen langer Straßen, die parallelen Schienen einer Eisenbahn sich mehr und mehr zu nähern, je mehr die Entfernung von unserm Auge zunimmt. Wir sehen nämlich die nahen Bäume ꝛc. unter einem weit größeren Gesichtswinkel, als die entfernten.

Wird der Gesichtswinkel allzuklein, so können wir die Zwischenräume nicht mehr wahrnehmen, und endlich verschwinden die Gegenstände selbst unsern Blicken. So vermögen wir die Lücken zwischen den einzelnen Pflanzen eines entfernt blühenden Rapsfeldes nicht mehr zu unterscheiden, und das Ganze erscheint uns wie eine große gelbe Fläche. Aus demselben Grunde sehen wir das Fortrücken des Stundenzeigers einer Uhr nicht. Ein Haar wird uns schon in geringer Ferne unsichtbar; eine weiße Stange von 5 Fuß Höhe dagegen können wir, wenn hinter derselben eine dunkle Fläche ausgespannt ist, auf eine Meile Entfernung wahrnehmen.

Obschon der dem Auge nahe gehaltene Finger in der That größer erscheint, als der entfernte Thurm, so halten wir doch den

Digitized by Google

Thurm nicht für kleiner, als den Finger, weil uns die Erfahrung über die wahre Größe dieser Gegenstände belehrt hat. Aus demselben Grunde halten wir erwachsene Personen, welche wir in einer uns bekannten Entfernung erblicken, nicht für kleine Kinder, obschon sie unserem Auge nicht größer als diese erscheinen. Täuschen wir uns aber über die Entfernung der Gegenstände, so irren wir auch sofort in der Beurtheilung ihrer Größe. Wer mit den Gestirnen nicht bekannt ist, wird und muß den Mond für eben so groß halten, als die Sonne, da er nicht wahrnehmen kann, daß letzte 400 mal so weit entfernt ist, als ersterer. Dergleichen falsche Urtheile nennt man optische Täuschungen.

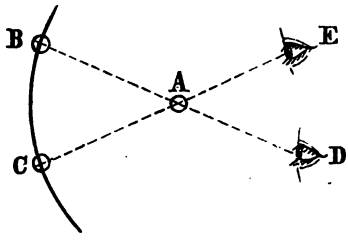
Zu einer der interessantesten optischen Täuschungen giebt uns oft der aufgehende Vollmond Veranlassung. Er scheint ungleich größer zu sein, als wenn er einige Stunden später hoch am Himmel steht; die genauesten Messungen mit besonders dazu eingerichteten Instrumenten zeigen aber, daß dies nur in unserer Einbildung beruht. Wir wissen nämlich aus tausendfacher Erfahrung, daß ein Gegenstand um so kleiner erscheint, je entfernter er ist. Nun scheint aber der hoch am Himmel stehende Mond — weil sich zwischen ihm und uns Nichts befindet, wonach wir seine Entfernung berechnen oder abschätzen könnten — uns weit näher zu sein, als der am Horizonte aufgehende, weil wir zwischen ihm und uns viele Gegenstände gewahren, deren weite Entfernung wir kennen. Indem wir aber den aufgehenden Mond für weiter entfernt halten, schreiben wir ihm auch eine bedeutendere Größe zu. Diese Täuschung wird noch dadurch vermehrt, daß der aufgehende Mond seine Strahlen durch die dunsterfüllte Atmosphäre zu uns sendet, wodurch sein Licht geschwächt wird, und aus weiterer Ferne zu kommen scheint. — Auch die Sonne erscheint uns bekanntlich bei ihrem Auf- und Untergange größer, und zwei Sterne, welche einander bei hohem Standpunkte ziemlich nahe stehen, sehen wir, wenn sie dem Horizonte nahe sind, viel weiter von einander entfernt.

Auf der Beobachtung des Gesichtswinkels, unter welchem uns die Gegenstände sich darstellen, beruht die Kunst des perspec-

Digitized by Google

tivischen Zeichnens, bei welchem das Entferntere kleiner dargestellt wird.

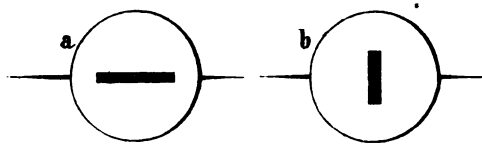
Zu den optischen Täuschungen kann man gewissermaßen auch diejenige Erscheinung rechnen, wonach ein bestimmter Gegenstand uns, je nach unserm verschiedenen Standpunkte, sich bald bei diesem, bald bei jenem entfernteren Gegenstande zu befinden scheint. Schauen wir z. B. nach einem nicht allzufernen Gegenstande, z. B. nach einem Baume A, so verdeckt er uns, wenn sich unser Auge in D befindet, den am Horizonte gelegenen Punkt B (z. B. einen Thurm, eine Windmühle). Aendern wir nun aber unsern Standpunkt, indem wir von E nach A schauen, so verdeckt er uns jetzt den Punkt (Thurm u. dgl.) C. Wäre nun zwischen A und den Gegenständen in B und C ein leerer Raum, so daß wir die dazwischen liegende Entfernung nicht bemerken könnten, so schiene uns A das eine Mal in dem Punkte B, das andere Mal in dem Punkte C zu stehen. Den Bogen des Horizontes BC, oder den Winkel BAC (so wie den ihm als Scheitelwinkel an Größe gleichkommenden Winkel DAE) nennt man die Parallaxe von A. Je näher uns A ist, desto größer ist die Parallaxe. Mittelst derselben berechnen die Astronomen die Entfernung der Gestirne.



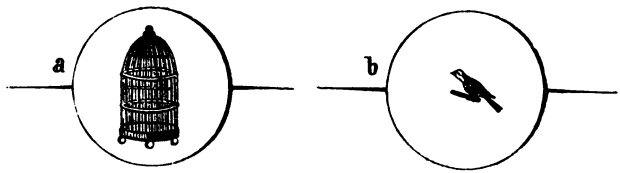
5) Ein von unserem Auge empfangener Lichteindruck darf nicht von zu kurzer Dauer sein, wenn wir ihn deutlich wahrnehmen sollen. Daher können wir die abgeschossene Flintenkugel nicht sehen. — Dagegen dauert ein empfangener Lichteindruck von genügender Stärke noch eine kurze Zeit fort, nachdem die ihn erzeugende Ursache bereits aufgehört hat. Schwingt man die glühende Spitze eines Holzspanes im Kreise herum, so erblickt man einen feurigen Kreis, und eine fallende Sternschnuppe läßt

Digitized by Google

einen Feuerstreif hinter sich zurück. Ebenso erscheint der kugelförmige Blitz als eine Linie. Zeichnet man auf die Mitte der einen Seite einer Pappscheibe einen wagrechten, auf die andere einen senkrechten Strich, und schwingt dann mittelst zweier Fäden,



die man an beiden Enden des wagrechten Striches befestigt hat, die Scheibe rasch um, so erblickt man ein Kreuz, denn der Eindruck des wagrechten Striches dauert in dem Auge noch fort, wenn ihm der des senkrechten Striches erscheint. Zeichnet man auf die eine Seite der Scheibe einen Käfig, auf die andere einen



Vogel, so scheint bei dem Umschwingen derselben der Vogel im Käfige zu sitzen. Dergleichen Scheiben heißen Thaumatropen.

Noch interessanter sind die stroboscopischen oder Wunderscheiben*, auf denen irgend eine Thätigkeit von Menschen oder Thieren oder die Bewegung eines Balles, eines Werkzeugs, einer Maschine u. dgl. in den verschiedenen auf einander folgenden Stellungen im Kreise herum dargestellt ist. Dreht man eine solche Scheibe um eine hindurchgesteckte Axe rasch vor dem Spiegel, während man durch die am Rande derselben in gleichen Entfernungen angebrachten Ausschnitte blickt, so sieht man im Spiegel

* Dergleichen sind aus der Schulbuchhandlung von F. G. L. Greßler zu Langensalza zu beziehen.

Digitized by Google

die dargestellte Thätigkeit so, als wären die Figuren wirklich beweglich, z. B. ein Ball fliegt auf und nieder, ein Holzhacker hackt Holz, ein Seiltänzer macht Luftsprünge u. s. w.; denn der Eindruck jedes Bildes haftet im Auge, bis man das folgende erblickt.

6) Das Auge vermag mehr oder weniger Licht einzulassen. Ist das Licht zu stark, so zieht sich die Pupille zusammen, dagegen dehnt sie sich im Dunkeln aus. Die Nachtraubthiere, besonders Katzen und Eulen, ziehn im Sonnenlichte die Pupille zu einer schmalen Spalte zusammen.

7) Das Auge besitzt die Fähigkeit, sich auf das Sehen naher und ferner Gegenstände einzurichten (Accommodationsfähigkeit). Wenn ein gesundes Auge die Gegenstände scharf und deutlich sehen soll, z. B. die Buchstaben beim Lesen und Schreiben, so dürfen sie ihm nicht näher sein als 8—10 Zoll. Diese Entfernung heißt die Weite des deutlichen Sehens oder die Sehweite, und sie ist erforderlich, wenn das Bild eines nahen Gegenstandes gerade auf die Netzhaut fallen soll. Bei größerer Nähe fällt dasselbe hinter die Netzhaut, und wir können den Gegenstand nicht deutlich sehen. Dennoch ist das Auge so beschaffen, daß es sich auf das Sehen entfernterer Gegenstände einrichten kann. Es verflacht sich nämlich und die Krystalllinse nähert sich der Netzhaut, so daß das Bild auf diese fällt. Will man etwas recht Nahes sehen, so zieht sich die Pupille zusammen, die Regenbogenhaut drückt auf die vordere Fläche der Krystalllinse, und diese krümmt sich mehr, so daß die Lichtstrahlen stärker gebrochen werden.

Verliert das Auge seine Accommodationsfähigkeit, so vermag es entweder nahe oder entfernte Gegenstände nicht mehr deutlich zu erkennen. Im ersteren Falle heißt es weitsichtig, im letzteren kurzsichtig. Weitsichtigkeit tritt oft im höheren Alter ein, besonders bei Personen, deren Beruf sie nöthigt, meist nach fernen Gegenständen zu blicken. Wollen diese dann z. B. lesen oder schreiben, so müssen sie das Blatt weit von dem Auge entfernt halten. Wer aber immer sehr nahe Gegenstände betrachtet,

Digitized by Google

und sich noch dazu dieselben näher hält als nöthig, der verliert endlich die Fähigkeit, in die Ferne zu sehen, und wird kurzsichtig. Beiden Fehlern vermag man durch Brillen abzuhelfen, von denen im folgenden Abschnitte die Rede sein wird.

B. Die wichtigsten optischen Instrumente.

§ 114. Die Brillen.

Da, wie so eben besprochen wurde, der Fehler der Weitsichtigkeit darin besteht, daß die Hornhaut und die Krystalllinse sehr flach sind, mithin die Strahlen zu wenig brechen, so daß das deutliche Bild eines nahen Gegenstandes erst hinter der Netzhaut entstehen könnte, so leistet eine Brille mit erhabenen Gläsern (eine Convexbrille, ein Brenn- oder Sammelglas) den erforderlichen Dienst einer stärkeren Strahlenbrechung, mittelst deren das Bild so weit vorgerückt wird, daß es gerade auf die Netzhaut fällt.

Kurzsichtige Personen bedürfen einer Brille, welche die Strahlen zerstreut, so daß sie sich erst später zu einem Bilde vereinen; denn bei ihnen sind Hornhaut und Krystalllinse zu stark gewölbt, und das Bild entsteht schon vor der Netzhaut. Das nothwendige Auseinandertreiben der Strahlen bewirkt eine Brille mit hohlen Gläsern (eine Concavbrille, ein Zerstreuungsglas).

Da es verschiedene Grade der Weit- und Kurzsichtigkeit giebt, so müssen die Brillen von verschiedener Stärke sein, damit für jedes Auge die passende ausgewählt werden könne. Man bezeichnet in der Regel die Gläser nach ihrer Brennweite mit Nummern; je kleiner die Zahl, desto geringer ist die Brennweite, desto schärfer die Brille. — Die Brillen sollen von dem Mönche Alexander von Spina ums Jahr 1300 erfunden sein. —

Weitsichtige Personen thun wohl, recht bald eine Brille zu gebrauchen, da sie sonst ihr Auge durch das Sehen in der Nähe angreifen und schwächen; der Kurzsichtige dagegen soll sich so lange als möglich keiner Brille bedienen, da sich der Fehler in

Digitized by Google

dieſem Falle gewöhnlich mit zunehmendem Lebensalter vermindert, und durch das Sehen in die Ferne das Auge nicht angeſtrengt wird.

§ 115. Mikroſcope oder Vergrößerungsgläſer.

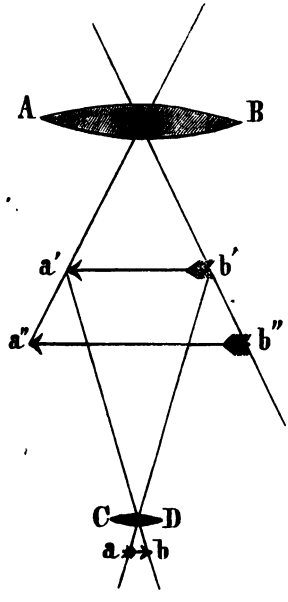
Die Loupe iſt eine erhabene Linſe, welche, wir wir aus § 110. wiſſen, von einem innerhalb ihrer Brennweite liegenden Gegenſtande ein aufrechtes, vergrößertes, ſubjectives Bild giebt. Je gewölbter die Linſe iſt, deſto kürzer iſt die Brennweite, deſto bedeutender iſt die Vergrößerung. Letztere findet man, wenn man mit der Brennweite in die Weite des deutlichen Sehens dividirt. Hat die Linſe 1 Zoll Brennweite, ſo erſcheint mithin eine Linie achtmal ſo lang, eine Fläche aber wird 8 . 8 = 64 mal ſo groß dargeſtellt. Je kürzer die Brennweite iſt, deſto näher muß der zu betrachtende Gegenſtand dem Glaſe ſein. Man hat auch Loupen mit 2 oder 3 Gläſern, bei denen das durch die erſte Linſe entſtandene vergrößerte Bild mittelſt der folgenden nochmals vergrößert wird.

Das einfache Mikroſcop iſt eine Convexlinſe von äußerſt geringer Brennweite oder eine kleine Glaskugel. Schon ein klarer Waſſertropfen giebt ein ſehr brauchbares Mikroſcop ab, wenn man ihn — ſo klein als möglich — mit einer Nadelſpitze aufnimmt, und in ein feines Loch einer Metallplatte bringt. Auch die winzigen Kryſtalllinſen aus den Augen kleiner Fiſche kann man als Mikroſcope benutzen.

Das zuſammengeſetzte Mikroſcop (Fig. auf S. 266) hat in ſeiner einfachſten Form zwei erhabene Gläſer, eine größere Convexlinſe, das Ocular (Augenglas) AB, durch welches man blickt, und das Objectiv (die Gegenſtandslinſe) CD, ein Convexglas von ſehr geringer Brennweite. Dieſe Linſen ſind in innen geſchwärzte Röhren gefaßt, die in einander ſtecken, ſo daß man die Gläſer in den erforderlichen Abſtand von einander bringen kann. Unterhalb des Objectivs iſt eine kleine durchbohrte Platte, der Objectivtiſch, angebracht, auf welchen man den zu betrachtenden Gegenſtand zwiſchen zwei Glasplättchen legt.

Digitized by Google

Damit derselbe möglichst gut beleuchtet werde, befindet sich am Boden des Gestelles, welches die ganze senkrechte Vorrichtung trägt, ein schräger beweglicher Spiegel, am besten ein Hohlspiegel, welcher die Lichtstrahlen nach oben wirft.



Das kleine, durchscheinende Object ab (z. B. ein dünner Pflanzenschnitt, ein mit Zuckerwasser verdünnter Blutstropfen, ein zusammengequetschter Floh, der Flügel einer Fliege, etwas Staub von den Flügeln eines Schmetterlings, ein von Infusionsthierchen belebter Wassertropfen aus einem Blumenglase u. s. w.) muß sich außerhalb der Brennweite des Objectivs befinden. Durch letzteres entsteht nun, wie aus § 110. bekannt ist, ein vergrößertes, verkehrtes objectives Bild a'b' im Innern der Röhre innerhalb der Brennweite des Oculars. Dieses Bild sieht man durch das Ocular nochmals vergrößert a'' b''.

Da, wo das erste Bild a'b' entsteht, ist die Röhre durch einen undurchsichtigen Ring (die Blendung) verengt, so daß die störenden Randstrahlen abgehalten werden. Häufig befindet sich zwischen Ocular und Objectiv noch eine Linse, die Sammel- oder Collectivlinse. Sie fängt die von dem Objectiv kommenden Strahlen auf, ehe sie sich zu einem Bilde vereinigt haben, bringt sie genauer in einen Punkt zusammen und giebt dadurch dem Bilde eine größere Schärfe, indem sie zugleich die Farbenränder vermindert.

Gute Mikroscope haben 2 oder 3 Oculare hinter einander. Manche Mikroscope sind so eingerichtet, daß man nicht von oben,

Digitized by Google

sondern horizontal hineinschaut, indem ein Prisma die von dem Objecte kommenden Strahlen wagrecht nach dem Ocular wirft.

Das Sonnenmikroscop. Es besteht aus einer Röhre, welche in die Oeffnung des Fensterladens eines verfinsterten Zimmers paßt, und zwei Linsen enthält, nämlich an dem dem Fenster zugekehrten Ende eine erhabene Linse von größerer Brennweite, und an dem in das Zimmer gewendeten Ende eine mikroscopische Linse. Erstere dient hier nicht zur Vergrößerung des Objectes, sondern nur zur Beleuchtung desselben. Außerhalb des Fensters wird nämlich mittelst eines schräg gestellten beweglichen Spiegels das Sonnenlicht aufgefangen und der Röhre zugeworfen. Die größere Linse sammelt die empfangenen Lichtstrahlen in ihrem nahe am andern Ende der Röhre liegenden Brennpunkte, der dadurch hell erleuchtet wird, und in den der zu betrachtende halbdurchsichtige Gegenstand kommt, von welchem an einer gegenüber befindlichen Wand ein sehr vergrößertes, wenn auch nicht recht helles, objectives Bild entsteht. Je weiter die auffangende Wand entfernt ist, desto größer erscheint das Bild, aber desto geringer ist auch seine Helligkeit. — Das Sonnenmikroscop wurde 1738 von Lieberkühn erfunden.

Das Hydro-Oxygengas- (Knallgas-) Mikroscop gleicht in seiner Einrichtung dem vorigen, vermeidet aber den Uebelstand, daß jenes von dem Sonnenscheine und von dem Stande der Sonne abhängig ist, dadurch, daß die Beleuchtung nicht durch Sonnenlicht, sondern durch das Drummondsche Kalklicht (§ 88) geschieht, d. h. durch ein Stückchen Kalk, welches in einer Flamme von Wasserstoffgas (Hydrogenium) glühet, in die man einen Strom von Sauerstoffgas (Oxygenium) leitet.

Während ein gutes zusammengesetztes Mikroscop das Object 2—500 mal der Längenausdehnung nach vergrößert, kann man mittelst des Hydro-Oxygengas-Mikroscops einen Gegenstand 20,000 bis Millionenmal vergrößern, so daß ein Menschenhaar mehr als einen Zoll im Durchmesser, ein Bienenstachel über 10 Fuß lang erscheint; aber weil sich das Licht auf eine zu große Fläche ausbreiten muß, sind die Bilder bei Weitem nicht so

Digitized by Google

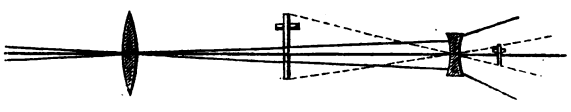
scharf und hell, als die eines guten zusammengesetzten Mikroscops.

§ 116. Telescope oder Fernröhre.

Die Telescope oder Fernröhre enthalten entweder nur geschliffene Gläser, durch welche die Lichtstrahlen gebrochen werden, und heißen Refractoren oder dioptrische Fernröhre; oder sie enthalten zugleich einen Hohlspiegel, welcher die Lichtstrahlen zurückwirft, und werden dann Reflectoren, Spiegeltelescope oder katoptrische Fernröhre genannt.

a) Refractoren.

1) Das galileische oder holländische Fernrohr. Spielende Kinder des Brillenmachers Hans Lippershey in Middelburg setzten eines Tages in eine Röhre zwei Linsengläser, ein hohles und ein erhabenes, und sahen durch diese Vorrichtung, indem sie das Hohlglas vor das Auge hielten, nach dem Hahne des Kirchthurmes, der ihnen nahe und groß erschien: dies war der Ursprung der Fernröhre (1600). Der berühmte Naturforscher Galilei, welcher davon hörte, errieth die Zusammenstellung, und brachte ein eben solches Fernrohr zu Stande.

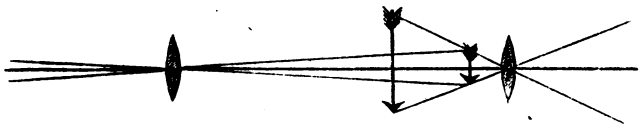


Das in Rede stehende Fernrohr hat demnach ein erhabenes Objectiv und ein vertieftes Ocular, die in zwei in einander steckenden Röhren angebracht sind, um sie einander mehr oder weniger nähern zu können. Das Objectiv muß eine viel bedeutendere Brennweite haben, als das Ocular, so daß auf der dem Auge zugekehrten Seite beider Gläser der Brennpunkt des Objectivs mit dem negativen Brenn- oder Zerstreuungspunkte des Oculars fast zusammenfällt. Das Objectiv allein würde nach § 110. von einem weit außerhalb seiner Brennweite liegenden

Digitized by Google

Gegenstande ein verkehrtes, verkleinertes objectives Bild geben, welches aber in der Nähe seines außerhalb der Röhre liegenden (dem Auge zugekehrten) Brennpunktes entstehen würde. Das Hohlglas aber verhindert, indem es nach § 111. die Strahlen weiter aus einander treibt, das Zustandekommen dieses objectiven Bildes, und läßt die Strahlen dergestalt ins Auge gelangen, daß ein aufrechtes, vergrößertes Bild innerhalb der Röhre entsteht. Die Vergrößerung beträgt übrigens nur das Drei- bis Viersache, und man benutzt das besprochene Fernrohr nur als Theater- und Taschenperspectiv.

2) Das Kepler'sche oder astronomische Fernrohr (Sternrohr). Es gleicht dem zusammengesetzten Mikroscope,

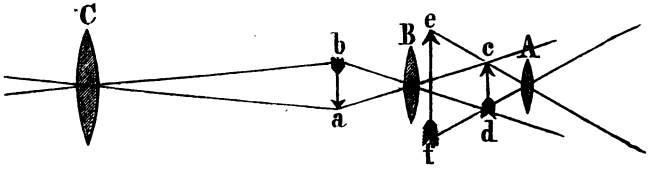


aber das Objectiv ist nicht zur Betrachtung sehr kleiner und naher, sondern für entfernte und große Gegenstände eingerichtet. Daher besteht es aus zwei erhabenen Linsen, einem großen Objectiv und einem kleineren Ocular, deren Entfernung so eingerichtet ist, daß die nach innen gerichteten Brennpunkte zusammenfallen. Nach § 110. entsteht durch das Objectiv von einem entfernten Gegenstande in der Nähe seines Brennpunktes ein verkehrtes Bild, welches mithin innerhalb der Brennweite des Oculars erscheint, und durch dieses — indem es auf dem nahen Gegenstand als Loupe (§ 114) wirkt, vergrößert gesehen wird. Die bei dem zusammengesetzten Mikroscop besprochene Blendung so wie die Sammellinse sind in der Regel auch in dem Sternrohre vorhanden.

3) Das Erdfernrohr. Für den Astronomen ist es gleichgültig, daß er durch sein Fernrohr Alles verkehrt sieht; bei der Betrachtung irdischer Gegenstände aber ist es wünschenswerth, daß man dieselben aufrecht sehe: dies wird durch das von dem

Digitized by Google

Pater Rheita erfundene Erdfernrohr bewirkt. Dasselbe hat vier erhabene Gläser, ein Objectiv von großer und drei Oculare von geringeren aber gleichen Brennweiten. Die drei Oculare befinden sich in der Ocularröhre in unveränderlicher Entfernung von einander, so daß der hintere Brennpunkt des ersten (inneren) Oculars mit dem vorderen des zweiten, und wiederum der hintere Brennpunkt mit dem vorderen des dritten (äußeren) Oculars zusammenfällt. Die Oculare können dem Objective durch Einstecken und Herausziehen der Ocularröhre je nach der Beschaffenheit des Auges und der Entfernung der Gegenstände mehr oder weniger genähert werden. Die Ocularröhre wird so weit hineingeschoben, daß das von dem Objective erzeugte verkehrte (§ 110) Bild ganz nahe vor dem ersten Ocular, also innerhalb seiner Brennweite, entsteht. Das erste Ocular macht die von dem verkehrten Bilde kommenden Strahlen zusammenlaufender; bevor sie sich aber zu einem Bilde vereinigen können, fallen sie auf das zweite Ocular, durch welches ein Bild des ersten Bildes erzeugt wird, so daß die beiden ersten Oculare zusammen wie ein einziges wirken. Das zuletzt entstandene Bild ist eine Umkehrung des verkehrten ersten, mithin ein aufrechtes Bild des Gegenstandes selbst. Es liegt innerhalb der Brennweite des dritten Oculars, wird also durch dieses wie durch eine Loupe aufrecht und vergrößert gesehen.

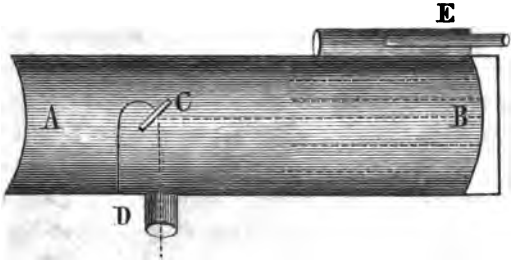


Die vorstehende Figur stellt ein Erdfernrohr dar, welches nur zwei Oculare A und B hat. Linse B giebt von dem durch das Objectiv C erzeugten umgekehrten Bilde a b auf der anderen Seite ein abermals umgekehrtes, also aufrechtes Bild e d, von welchem die Ocularlinse A das vergrößerte Bild e f erzeugt.

Digitized by Google

b) Reflectoren oder Spiegeltelescope.

Unter diesen ist das von Newton erfundene hervorzuheben. Mit einem solchen machte der Astronom Herschel seine berühmten Beobachtungen, durch welche die Sternkunde die wichtigsten Aufschlüsse erhielt.



Im Hintergrunde der Röhre A befindet sich ein metallner Hohlspiegel B, auf welchen die Strahlen des beobachteten Gegenstandes fallen. Es würde nach § 102. außerhalb der Brennweite, aber in der Nähe des Brennpunktes ein verkleinertes, verkehrtes, objectives Bild entstehen. Bevor sich aber die Strahlen zu einem solchen vereinigen können, fallen sie auf einen unter 45^0 geneigten Planspiegel C, werden daher (§ 95 c) unter einem rechten Winkel von ihrer Bahn abgelenkt, und fallen in das kleinere Seitenrohr D, in welches der Beobachter durch ein erhabenes Ocular blickt, mithin ein vergrößertes Bild des Gegenstandes sieht.

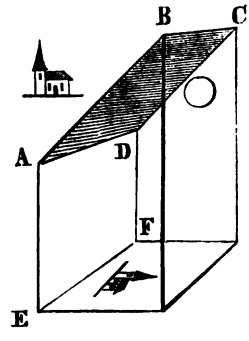
Herschel's Spiegeltelescop hatte eine Röhre von 46 Fuß Länge und 5 Fuß Durchmesser; der Hohlspiegel wog 1000, das Ganze 4000 Pfund. Den Planspiegel hatte Herschel weggelassen, und dem Hohlspiegel eine solche Richtung gegeben, daß das Bild nahe an der inneren Wand der Röhre entstand, so daß man es von oben herab durch ein Ocular betrachten konnte. Behufs der Aufsuchung des zu beobachtenden Gegenstandes war außen an der Röhre ein mit derselben gleichlaufendes kleines Fernrohr, der Sucher E, befestigt. Mit Herschel's Riesen-

Digitized by Google

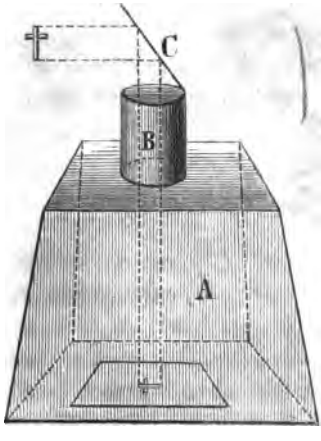
teleſcop konnte man die kleinſte Schrift in einer Entfernung von 1500 Fuß leſen. Dem Eintritt des ſchönſten Fixſternes, des Sirius, in das Geſichtsfeld deſſelben ging eine immer heller werdende Dämmerung voran, bis der Stern ſelbſt mit Sonnenglanz erſchien.

§ 117. Noch einige andere optiſche Inſtrumente.

1) Der Guckkaſten. Er beſteht insgemein aus einem vierſeitigen Kaſten, durch deſſen größtentheils offne Hinterwand ADFE das Licht fällt. An dieſer Hinterwand iſt ein Spiegel ABCD unter einem Winkel von 45° angebracht, welcher Wagrechtes (§ 95) ſenkrecht darſtellt; in einer Oeffnung der Vorderwand befindet ſich eine erhabene Linſe, durch welche man in den Kaſten blickt. Ein auf den Boden deſſelben gelegtes Bild erſcheint im Spiegel aufrecht, und wird durch das erhabene Glas vergrößert geſehen. Im Großen ausgeführt nennt man die Vorrichtung ein Kosmorama.



2) Die camera obscura (dunkle Kammer), 1650 von Porta erfunden. Sie hat den Zweck, die mittelſt einer erhabenen Linſe erhaltenen objectiven (verkleinerten und verkehrten) Bilder, indem alles ſtörende Seitenlicht abgehalten wird, recht deutlich ſichtbar zu machen. Die Zeichnungen ſtellen die beiden Hauptformen derſelben dar.

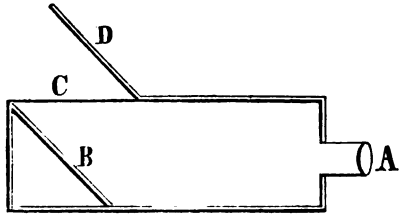


Ein hoher, innen geſchwärzter, ringsum geſchloſſener und nur an einer Seite behufs des

Digitized by Google

Hineinblickens offener, dort aber auch mit einem dunklen Vorhange bedeckter Kasten A hat in seiner Decke eine senkrechte Röhre B mit einer erhabenen Linse. Auf diese wirft ein oberhalb befindlicher schräger Spiegel C die Bilder der außen befindlichen Gegenstände, deren objectives, also auch farbiges verkleinertes Bild auf den mit weißem Papiere bedeckten Boden der dunklen Kammer fällt, und dort leicht nachgezeichnet werden kann.

Bei der zweiten Form der camera obscura fallen die von den Gegenständen kommenden Lichtstrahlen unmittelbar auf die in einer wagrechten Röhre steckende Linse A, das objective Bild



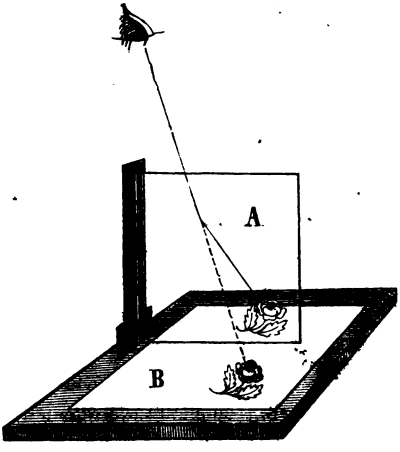
aber wird von einem an der Hinterwand des Kastens befindlichen unter 45^0 geneigten Spiegel B senkrecht in die Höhe geworfen, so daß es sich auf einer in der Decke des Kastens angebrachten matt geschliffenen Glastafel oder auf einem dort ausgespannten Blatte von durchscheinendem Papier (Seidenpapier oder mit Oel getränktem Schreibpapier) C darstellt und ebenfalls nachgezeichnet werden kann. Der bei der Betrachtung des Bildes aufzuklappende, sonst auf der Auffangefläche liegende Deckel D hat an beiden Seiten dunkle Vorhänge, damit das Seitenlicht abgehalten wird.

Während die camera obscura mit ihren niedlichen Bildern, welche zugleich die Bewegungen der betrachteten Gegenstände (Menschen, Thiere, vom Winde bewegte Bäume) ganz naturgetreu darstellen, früher nur zu einer angenehmen Unterhaltung diente, ist sie gegenwärtig für die Daguerreotypie und Photographie d. h. für die Darstellung von Lichtbildern

Digitized by Google

von höchster Wichtigkeit. Ueber diese Anwendung derselben siehe des Verfassers Laien-Chemie, Langensalza, Schulbuchhandl. Hier kann nur kürzlich angedeutet werden, daß es dem menschlichen Scharfsinne gelungen ist, die Bilder der camera obscura auf einer präparirten Metall- oder Glasplatte oder auf präparirtem Papier bleibend darzustellen.

3) Die camera lucida (helle Kammer) wird nur uneigentlich „Kammer“ genannt, weil sie in ähnlicher Weise wie die camera obscura zur Nachbildung kleiner Gegenstände dient. Sehr einfach kann man sich dieselbe herstellen, indem man eine reine quadratische Glastafel A auf ein Blatt weißes Papier B

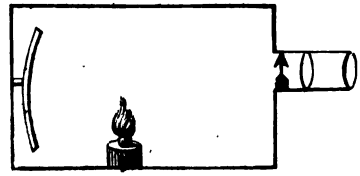


senkrecht stellt, und den abzuzeichnenden Gegenstand (z. B. einen Schlüssel, eine Blume, einen Schmetterling) links daneben legt. Ein von oben herabsehendes Auge erblickt auf der rechten Seite des Glases ein deutliches Bild des Objectes, welches leicht gezeichnet werden kann. Will man die Sache bequemer haben, so befestigt man die Glastafel, um sie nicht mit der linken Hand halten zu müssen, in den Falz einer senkrechten hölzernen Säule.

4) Die laterna magica (Zauberlaterne), 1646 von Kircher erfunden. Sie besteht aus einem laternenartigen Blech-

Digitized by Google

kasten, an dessen Hinterwand ein Hohlspiegel von Metall angebracht ist, während in die Vorderwand eine Röhre mit zwei erhabenen Gläsern befestiget wird, welche zusammen dasselbe leisten, wie eine Linse von kürzerer Brennweite, aber dem Bilde größere Helligkeit verleihen, obschon sie die Schärfe desselben vermindern. In der Laterne brennt eine Lampe, welche im Brennpunkte des Hohlspiegels steht, so daß dieser



als Beleuchtungsspiegel (§ 101) dient. Nun schiebt man hinter die Linsen ein mit durchsichtigen Farben auf einen Glasstreifen gezeichnetes Bild verkehrt ein, und erhält in einem finstern Zimmer an einer weißen Wand oder auf einem durchsichtigen Vorhange (z. B. von Mousselin) ein aufrechtes, vergrößertes, objectives Bild des auf dem Glase Gezeichneten. Nähert man die Laterne dem Vorhange, so wird das Bild kleiner, entfernt man sie, so vergrößert es sich, so daß die Zuschauer in Folge einer optischen Täuschung meinen, das Bild selbst sei bald näher, bald entfernter. Ueberstreicht man eine weiße Glastafel auf einer Seite mit schwarzer Farbe und kratzt die Bilder ein, so erscheinen die Figuren geisterhaft weiß.

In neuerer Zeit werden oft die sogenannten Nebel- oder Wandelbilder dargestellt. Man bedarf dazu zweier Zauberlaternen, die man zunächst ohne Einschiebung eines Bildes so richtet, daß die von ihnen auf den Vorhang geworfenen lichten Kreisflächen genau in Eine zusammenfallen. Nun schwächt man das Licht der einen Laterne durch Herabziehen des Dochtes, und stellt einen Schirm vor dieselbe; in die helle Laterne aber schiebt man ein Bild ein, welches die Zuschauer betrachten. Jetzt schwächt man das Licht dieser Laterne, und verstärkt nach Entfernung des Schirmes die Flamme in der andern, in die man ebenfalls ein Bild eingeschoben hat, ein Wenig. Die Zuschauer sehen also zwei Bilder zugleich, die aber, weil beide ungenügend beleuchtet sind, nebelhaft in einander verschwimmen. Hierauf verdeckt man

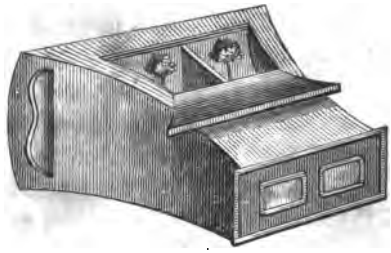
Digitized by Google

die Laterne mit dem zuerst betrachteten Bilde ganz, und erhellt das Bild in der zweiten vollständig. So löset immer ein Bild das andere ab.

Die Chromatropen (Farbenbilder), welche gewöhnlich bei der Vorstellung der Nebelbilder ebenfalls gezeigt werden, entstehen, indem auf zwei in der laterna magica hinter einander befindliche Glasscheiben verschiedene sternförmige bunte Figuren gezeichnet sind. Indem man die Scheiben um dieselbe Axe aber in entgegengesetzter Richtung dreht, erblickt man auf dem Vorhange die mannigfaltigsten und schönsten farbigen Zeichnungen.

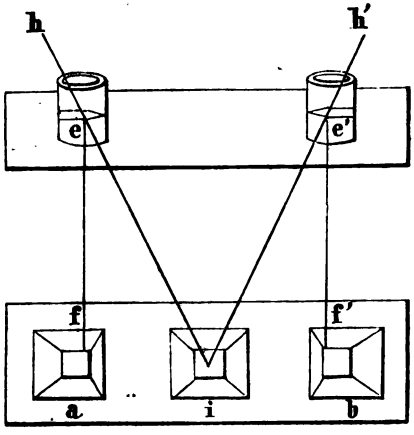
5) Das Stereoscop. Der Name bezeichnet ein Instrument, durch welches man die auf Bildern dargestellten Gegenstände verkörpert sieht. Es beruht auf der Beobachtung, daß das Bild eines gesehenen Gegenstandes nicht für beide Augen vollkommen gleich ausfällt. Halten wir z. B. einen Würfel nahe vor die Augen, so daß eine seiner Kanten gegen die Nasenwurzel gekehrt ist, und betrachten ihn mit dem rechten Auge, so erblicken wir die rechts liegende Fläche voll, die links liegende verkürzt; wenden wir hingegen das linke Auge allein an, so ist die Erscheinung umgekehrt. Halten wir einen Ring mit seiner schmalen Seite vor das Gesicht, so fällt der Blick des linken Auges von links nach rechts, der des rechten Auges von rechts nach links hindurch. Wir sehen also mit beiden Augen zugleich **mehr** von einem Gegenstande, als mit einem Auge allein. Ein Auge sieht von einer Kugel nie mehr als die Hälfte, dagegen umfassen zwei Augen zusammen mehr als die Hälfte der Kugel, so daß der Zweiäugige sich deutlicher der Körperlichkeit derselben bewußt wird, als der Einäugige. Betrachten wir nun zwei ganz gleiche Bilder in der Weise, daß wir das eine nur mit dem linken, das andere nur mit dem rechten Auge wahrnehmen können, so glauben wir nur ein einziges Bild vor uns zu sehen. Da eine solche Art zu sehen für die freien Augen sehr schwierig und anstrengend ist, so hat man eine Vorrichtung erdacht, wodurch es erleichtert wird. Man blickt nämlich die beiden Bilder durch zwei neben einander liegende Röhren an,

Digitized by Google



wodurch jedem Auge seine Richtung angewiesen wird und die seitlich gelegenen Gegenstände verdeckt werden. — Soll das Bild aber verkörpert erscheinen, so daß z. B. die hinter einander liegenden Theile eines Säulenganges, einer Straße, einer Landschaft u. s. w. auch wirklich hinter einander und nicht als Flächen, sondern als Körper gesehen werden, so muß von den beiden in den Apparat einzuschiebenden Bildern das eine den Gegenstand so darstellen, wie ihn das linke Auge allein, das andere so, wie ihn das rechte Auge allein erblickt. Solche Bilder erhält man, indem man photographische Ansichten des Gegenstandes von zwei verschiedenen Standpunkten aus in der erforderlichen Entfernung aufnimmt. Beide Bilder zusammen enthalten also mehr, als auf eine bloße Fläche gezeichnet werden kann, und daraus eben entsteht der den Beschauenden so überraschende Anblick des Körperlichen; er sieht nicht bloß die Länge und Breite, sondern auch die Tiefe der Gegenstände. — Weit leichter und vollkommener gelingt das Körperlichsehen, wenn in die Röhren des Apparats eigenthümlich geschliffene Gläser eingesetzt werden. Man erhält dieselben, indem man eine erhabene Linse (ein Brennglas) mitten durch schneidet, und die beiden Hälften so in die Röhren einsetzt, daß die ursprünglich einander zugekehrten Ränder von einander abgekehrt werden. Die Figur auf S. 278 zeigt uns in a und b zwei von verschiedenen Standpunkten aufgenommene Ansichten eines geometrischen Körpers. Die von demselben in gerader Richtung fe und f'e' auf die prismatischen Linsen fallenden Lichtstrahlen werden

Digitized by Google



nach h und h' gebrochen, und das in dieser Richtung von ihnen berührte Auge versetzt den Gegenstand an den Vereinigungspunkt der beiden Linien, also nach i, und zwar sieht es nicht ein Doppelbild, sondern einen wirklichen Körper.

V. Die Farben.

§ 118. Das Sonnenspectrum.

Wenn die Sonne an einem heiteren Sommermorgen auf die an den Gewächsen hängenden Thautropfen scheint, so erblicken wir dieselben im schönsten Farbenglanze, der sich mit unserer Stellung ändert; rothe, gelbe, grüne und blaue Tropfen strahlen uns entgegen. — Scheint die Sonne auf die bei einem Springbrunnen in Form eines feinen Regens herabfallenden Wassertröpfchen, so zeigt sich ein siebenfarbiger Kreis. — Fallen die Sonnenstrahlen auf einen gläsernen Kronleuchter oder durch ein helles mit klarem Wasser gefülltes Glas, so entstehen an den gegenüber liegenden Wänden oder auf dem Fußboden farbige Zeichnungen. — Die Pracht des Regenbogens ist jedem Kinde bekannt. — Schwindet das Sonnenlicht, so schwinden auch alle diese Farben; mithin sind sie aus demselben entstanden, und zwar, indem es gebrochen wird.

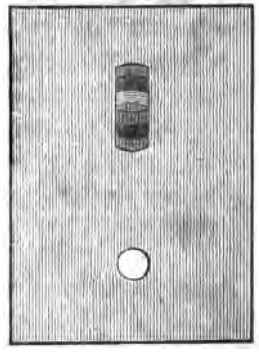
Digitized by Google

Um sich davon völlig zu überzeugen, verfinstere man ein Zimmer, in welches die Sonnenstrahlen fallen, durch Schließung der Läden. In einen derselben bohre man ein feines Loch, durch welches ein Bündel Lichtstrahlen in den dunklen Raum fällt. Man sieht das Licht in einer geraden Linie durch das Zimmer gehen. Fängt man dasselbe mittelst eines Schirmes von weißem Papier auf, so sieht man auf demselben ein weißes, rundes Sonnenbild, welches um so größer erscheint, je weiter der Schirm von dem Fenster entfernt ist. (Der Versuch läßt sich auch — obschon mit ungenügenderem Erfolge — in einem nicht verfinsterten Zimmer anstellen, indem man eine Tafel von Pappe, in welche man ein feines Loch gestochen hat, vor das Fenster so hält, daß die Sonne durch die Oeffnung scheint.)

Die Sonnenstrahlen fallen auf die Oeffnung in Form eines Kegels, dessen Grundfläche die Sonne und dessen Spitze die Oeffnung ist. Dort kreuzen sie sich, und bilden nun abermals einen Kegel, dessen Spitze an der innern Seite der Oeffnung liegt, dessen Grundfläche aber auf dem Auffangeschirm sich darstellt.

Fängt man nun aber den Strahlenkegel durch ein mit dem brechenden Winkel nach unten gehaltenes gläsernes, dreiseitiges Prisma (§ 108) auf, so bemerkt man auf dem entfernten Schirme eine dreifache Veränderung an dem Sonnenbilde (Sonnenspectrum).

1) Es liegt höher, als vorhin. Diese Erscheinung wurde schon § 108. erklärt.



2) Es ist nicht mehr rund, sondern länglich, fast fünf Mal so lang als breit, und erscheint oben und unten von zwei Bogen, an den Seiten aber von geraden Linien begrenzt.

3) Es ist nicht mehr weiß, sondern farbig, und zwar erblickt man von unten nach oben folgende Farben, welche jedoch nicht

Digitized by Google

scharf abgegrenzt sind, sondern allmählig in einander übergehen:

roth, orange, gelb, grün, hellblau, dunkelblau (indigoblau), violett,

also die bekannten sieben Farben, welche der Regenbogen — jedoch in umgekehrter Lage — zeigt, denn bei diesem befindet sich die rothe Farbe oben, die violette aber unten. In dem Farbenbilde nehmen jedoch dieselben keineswegs gleiche Räume ein, sondern, wenn man dasselbe in 360 gleiche wagrechte Theile zerlegt, so kommen auf das Roth 45, auf Orange 27, auf Gelb 48, auf Grün 60, auf Hellblau ebenfalls 60, auf Dunkelblau 40, auf Violett 80 solche Theile und die blauen und violetten Strahlen werden am weitesten von der ursprünglichen Stelle des Sonnenbildes hinweggebrochen.

Sticht man durch den Auffangeschirm ein Loch, durch welches nur eine Farbe hindurchgehen kann, und fängt man diese einfarbigen Strahlen mit einem zweiten Prisma auf, so werden sie zwar abermals gebrochen, aber nicht in neue Farben zerlegt.

Bringt man zwischen das (erste) Prisma und den Schirm eine erhabene Linse, so erscheint in dem Brennpunkte derselben wiederum das ursprüngliche weiße, runde Sonnenbild.

Aus diesen — zuerst von Newton 1666 angestellten — Versuchen ergiebt sich:

1) der weiße Sonnenstrahl ist nicht einfach, sondern aus einer großen Menge verschiedenfarbiger Strahlen zusammengesetzt, die mittelst der Brechung von einander getrennt werden können, in ihrer Vereinigung aber wieder Weiß geben;
2) jeder farbige Strahl im Sonnenspectrum ist einfach, und kann nicht weiter zerlegt werden;
3) die farbigen Strahlen haben einen verschiedenen Grad der Brechbarkeit, so daß die rothen

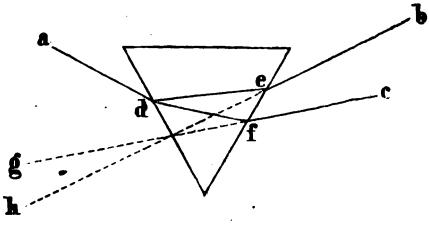
Digitized by Google

am schwächsten, die violetten am stärksten gebrochen werden.

Anmerk. Bei der Betrachtung des Schalles fanden wir, daß die Schallwellen nur dann von unserem Ohre wahrgenommen werden können, wenn sie weder allzulangsam noch allzuschnell erfolgen; so ist es auch der Fall hinsichtlich der Lichtstrahlen, indem es außer denjenigen Lichtstrahlen, welche in unserem Auge den Eindruck einer Farbe hervorbringen, noch andere giebt, welche dies nicht vermögen, weil die von ihnen erzeugten Lichtwellen (§ 122) eine zu geringe oder zu große Geschwindigkeit haben. Dergleichen unsichtbare Lichtstrahlen äußern ihr Vorhandensein theils durch die Wärme, welche sie erzeugen, theils durch (chemische) Veränderungen, welche sie in anderen Körpern bewirken.

§ 119. Die Farbenränder der durch das Prisma betrachteten Gegenstände.

1) Ein weißer Punkt auf schwarzem Grunde (z. B. ein sehr kleines Scheibchen von weißem Papiere, das man auf ein schwarzes Buch legt) erscheint als eine Linie, welche die Farben des Sonnenspectrums in umgekehrter Ordnung (unten Violett, oben Roth) zeigt.



Grund. Es sei a ein weißer Punkt auf schwarzem Grunde. Der Strahl ad wird in d aufwärts nach e, in e aufwärts nach b gebrochen. Zugleich wird aber der weiße Strahl ad in farbige Strahlen von verschiedener Brechbarkeit zerlegt, so daß er sich in d in die kleine Winkelfläche def dergestalt ausbreitet, daß längs de der violette, längs df der rothe, dazwischen die übrigen Farbenstrahlen erscheinen, und beim Austritt aus dem Prisma verhältnißmäßig aufwärts gebrochen werden. Ein Auge,

Digitized by Google

in welches die Strahlen eb und fc gelangen, sieht mithin den violetten Strahl in der Richtung beh, den rothen in der Richtung cfg, also jenen unten, diesen oben, dazwischen die andern.

2) Eine weiße wagrechte Linie auf schwarzem Grunde (z. B. ein recht schmales Streifchen Papier auf ein schwarzes Buch gelegt) erscheint als eine gebogene farbige Fläche mit den Regenbogenfarben in umgekehrter Ordnung (unten Violett, oben Roth).

Grund. Die weiße Linie ist als eine Reihe neben einander liegender Punkte anzusehen.

3) Eine senkrechte weiße Linie auf schwarzem Grunde (z. B. das so eben gebrauchte Streifchen Papier senkrecht gelegt) ist oben roth und gelb, unten blau und violett, in der Mitte weiß.

Grund. Jeder einzelne Punkt der senkrechten Linie hat als Farbenbild eine kleine senkrechte Farbenlinie. Indem diese Bilder sich größtentheils decken, entsteht aus der Farbenmischung Weiß, und nur die violetten Strahlen des untersten, und die rothen des obersten Farbenbildes fallen unvermischt ins Auge.

4) Eine weiße Fläche auf schwarzem Grunde ist ebenfalls oben roth und gelb, unten blau und violett, mitten weiß.

Grund. Sie ist als eine Aneinanderreihung senkrechter Linien zu betrachten. — Eine weiße Fläche auf weißem Grunde erscheint daher ohne Farbenränder.

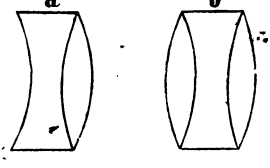
Anmerk. So besteht auch das längliche Sonnenspectrum aus einer Menge einander theilweise deckender kreisförmiger Farbenbilder. Fängt man es so nahe am Prisma auf, daß das violette und rothe Bild noch in einander greifen, so erscheint es in der Mitte, wo alle Farben sich decken, weiß, und nur am oberen und unteren Rande gefärbt. Betrachtet man es durch ein einfarbiges Glas, welches nur eine Strahlengattung durchläßt, z. B. durch ein tief rothes oder tief blaues Glas, so erscheint es kreisförmig und roth oder blau.

5) Schwarze Linien und Flächen auf weißem Grunde erscheinen oben blau, unten roth.

Digitized by Google

Grund. Die Umkehrung ist nur scheinbar, indem sich die Farben nicht auf das Schwarze, sondern auf das Weiße beziehen. Es sind nämlich zwei weiße Flächen durch das Schwarze getrennt, und das obere Blau des Schwarzen ist nur das untere Blau der höher liegenden weißen Fläche, so wie das untere Roth des Schwarzen das obere Roth der tiefer liegenden weißen Fläche ist. Daß dem wirklich so sei, geht schon daraus hervor, daß oberhalb des Schwarzen das Hellblau höher liegt, als das Dunkelblau und Violett, so wie unterhalb des Schwarzen das Orange und Gelb tiefer liegt, als das Roth.

Die Linsengläser verursachen eine bei ihrem Gebrauche sehr störende Farbenzerstreuung des Lichtes, so daß die betrachteten Gegenstände farbige Ränder bekommen. Daher bedient man sich zu guten optischen Instrumenten, z. B. zu Fernröhren, farbloser (achromatischer) Gläser, welche man dadurch herstellt, daß man hinter eine erhabene Linse aus gewöhnlichem Glase (Kronglase) [Fig. a] oder zwischen zwei dergleichen [Fig. b] eine weniger vertiefte Hohllinse aus bleihaltigem Glase (Flintglase) stellt. Letzteres bricht nämlich die farbigen Strahlen in anderer Weise als ersteres, und bewirkt, daß sie zu weißem Lichte vereinigt ins Auge fallen. Eine ähnliche Wirkung haben die verschiedenen Feuchtigkeiten unseres Auges.



§ 120. Der Regenbogen.

Der schöne mit den sieben prismatischen Farben geschmückte Regenbogen erscheint uns, wenn wir vor uns eine regnende Wolke, hinter uns aber die Sonne haben. Seine Farben sind so geordnet, daß das Roth am höchsten, das Violett am tiefsten liegt.

Eine gerade Linie von der Sonne aus durch das Auge des Beobachters gezogen, trifft den (in der Regel unterhalb des Horizontes liegenden) Mittelpunkt des Bogens, oder: der Mittelpunkt des Regenbogens liegt in der Richtung, welche der Schatten des Kopfes des Beobachtenden anzeigt. Wir sehen daher in unseren

Digitized by Google

Gegenden niemals einen Regenbogen im Süden; am Morgen erscheint er gegen Westen, am Mittage gegen Norden, am Abende gegen Osten, überhaupt allezeit der Sonne gegenüber.

Steht die Sonne im Horizont, so fällt der Mittelpunkt des Kreises in den gegenüber liegenden Punkt des Horizontes. In diesem Falle hat der Regenbogen seine höchst mögliche Lage; er bildet dann einen völligen Halbkreis, dessen rother Bogen mit einer Zirkelöffnung von ungefähr 42°, also beinahe mit einem halben rechten Winkel beschrieben ist. Daß er uns oft noch höher erscheint, beruht auf einer optischen Täuschung. — Je höher sich nun die Sonne erhebt, desto tiefer unter dem Horizonte liegt der Mittelpunkt des Farbenkreises, desto niedriger steht der Regenbogen, und ein um so kleinerer Theil des ganzen Kreises ist über dem Horizonte sichtbar. Steht die Sonne 10° hoch am Himmel, so erhebt sich der Bogen nur 32°. Bei einer Höhe der Sonne von 42° oder mehr — also bei uns im Sommer von 9 Uhr Morgens bis 3 Uhr Nachmittags — kann kein Regenbogen erscheinen, da er ganz unter dem Horizont zu liegen kommt. Von den Gipfeln der Berge und den Spitzen hoher Masten aus erblickt man dagegen bei niedrigem Stande der Sonne oft den vollständigen Farbenkreis. Ist die Regenwolke zu klein, so sieht man nur einzelne Theile des Bogens, sogenannte Wassergallen.

Häufig zeigt sich oberhalb des Hauptregenbogens ein größerer aber schwächer gefärbter Nebenregenbogen, welcher die prismatischen Farben in entgegengesetzter Ordnung (außen viollett, innen roth) darstellt.

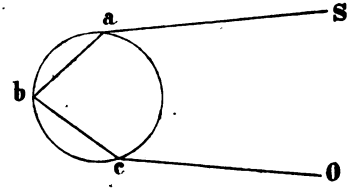
So lieblich die Erscheinung des Regenbogens ist, so schwierig ist eine leicht verständliche Erklärung des Vorganges bei seiner Entstehung, und wir müssen uns auf folgende Sätze beschränken:

1) Der Regenbogen ist eine Wirkung der in den herabfallenden Regentropfen gebrochenen und von denselben farbig zurückgeworfenen Sonnenstrahlen. Jeder dieser Tropfen ist nur einen Augenblick bei der Herstellung des Regenbogens thätig; da er aber sogleich durch einen andern

Digitized by Google

ersetzt wird, so muß die Erscheinung so lange dauern, als die Wolke regnet und die Sonne die erforderliche Höhe hat.

2) Der Hauptregenbogen entsteht, indem der Sonnenstrahl S a in dem Regentropfen bei seinem Eintritt von a nach b gebrochen, dann von der dunklen Hinterwand desselben nach der Vorderwand zurückgeworfen wird (bc), und bei seinem Austritte abermals gebrochen und farbig zerstreut in das Auge gelangt (c O).



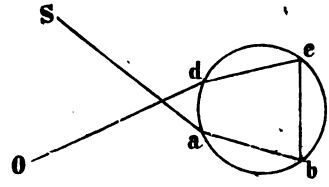
3) Aus § 117. ist uns bekannt, daß die farbigen Strahlen eine verschiedene Brechbarkeit haben, daß der violette Strahl — der im Sonnenspectrum oben erscheint — am stärksten, der rothe am wenigsten abgelenkt wird. Das Auge des Beobachters wird daher aus den niedriger gelegenen Tropfen nur den obersten, violetten Strahl erhalten, während die übrigen farbigen Strahlen unterhalb des Auges hinweggehen; von höher gelegenen Tropfen erhält es nur den untersten, rothen Strahl, indem die übrigen Farbenstrahlen oberhalb des Auges hinweggehen; aus den dazwischen liegenden Tropfen aber empfängt es die anderen farbigen Strahlen.

4) Da diejenigen Tropfen, aus welchen eine bestimmte Farbe in das Auge gelangen soll, gegen die Sonne und gegen das Auge des Beobachters gleiche Lage haben müssen, so müssen sie in einem Kreise herum liegen; der vollständige Regenbogen hat daher Kreisform, und der sichtbare Theil desselben bildet stets einen Abschnitt eines Kreisringes. Der Winkel für die violetten Strahlen beträgt $42^0\ 2'$, der für die rothen $40^0\ 17'$, die ganze Breite des Kreisringes mithin $1^0\ 45'$ d. h. drei Vollmondsbreiten.

5) Der Nebenregenbogen entsteht durch zweimalige Brechung und zweimalige Zurückwerfung der Lichtstrahlen. Da das rothe Licht am wenigsten gebrochen wird,

Digitized by Google

so muß das Auge, wenn es aus einem Tropfen dieses empfängt, aus den höher gelegenen Tropfen die anders gefärbten Strahlen erhalten, aus den höchsten aber, die ihm noch farbiges Licht zusenden, das Violett; daher zeigt der Nebenregenbogen die Farben im Vergleich mit dem Hauptregenbogen in umgekehrter Ordnung. Die rothen Strahlen gelangen unter einem Winkel von $50^0\ 57'$, die violetten unter $54^0\ 7'$ ins Auge. Die schwächere Färbung des Nebenregenbogens ist eine Folge der mit der mehrmaligen Ablenkung der Lichtstrahlen verbundenen größeren Zerstreuung derselben.



§ 121. Andere Licht- und Farbenerscheinungen (Photometeore) in der Atmosphäre.

1. Die Tageshelle.

Sie wird erzeugt:

a) durch das von der Sonne unmittelbar zu uns gelangende Licht;

b) durch das von den irdischen Körpern zurückgeworfene (reflectirte) Licht;

c) durch das von der atmosphärischen Luft ohne Farbenzerstreuung zurückgeworfene Sonnenlicht. Wäre Letzteres nicht, so müßten alle im Schatten liegenden Orte völlig lichtlos sein, was doch bekanntlich keineswegs der Fall ist.

Wie durch die Zurückwerfung der Sonnenstrahlen mittelst der Atmosphäre die Morgen- und Abenddämmerung entsteht, wurde bereits § 93. besprochen.

2. Die Bläue des Himmels.

Sie ist eine Folge der Brechung und Zurückwerfung der Sonnenstrahlen. Wäre die Luft vollkommen durchsichtig, so müßte uns der Himmel schwarz erscheinen, und in der Tiefe

Digitized by Google

erscheint er um so dunkler, je höher man sich über die Oberfläche der Erde erhebt, in je dünnere Luftschichten man also gelangt. Luftschiffer, welche sich mit ihrem Ballon in sehr hohe Regionen erhoben hatten, blickten zuletzt in den leeren, finsteren, fast ganz schwarzen Weltraum hinaus. Da aber die Luft nicht völlig durchsichtig ist, so wirft sie einen Theil des Lichtes zurück, und zwar, wie wir unter 1. erfuhren, zum Theil unzersetzt, also weiß, zum Theil aber auch das am meisten brechbare blaue Licht. Wasserdünste schwächen die blaue Farbe, daher ist der Himmel bei recht reiner Luft, z. B. nach einem starken Regenguße und in klaren Winternächten, desgleichen in der heißen Zone und auf Bergen am dunkelsten blau, und am dunsterfüllten Horizont erscheint er minder blau als in unserem Scheitelpunkte und dessen Umgebung.

3. Das Morgen- und Abendroth.

Wenn man durch den Wasserdampf, welcher aus dem Sicherheitsventile einer Locomotive aufsteigt, oder auch durch den aus einem im Sonnenlichte stehenden Topf mit siedendem Wasser sich erhebenden Dampf nach der Sonne blickt, so tritt oft ein Zeitpunkt ein, in welchem der Dampf röthlich und gelblich gefärbt erscheint, indem die Dämpfe bei ihrer allmähligen Abkühlung diejenige Dichtigkeit erlangen, bei der sie das rothe und gelbe Licht zurückwerfen.

Ein gleicher Uebergangszustand tritt auch in den Wasserdünsten der Atmosphäre ein, wenn sich dieselbe am Abende abkühlt oder am Morgen erwärmt. Am Abende geschieht dies, wenn die Wasserdünste Luftform annehmen, daher verkündet das Abendroth einen schönen Tag. Am Morgen erscheint das Roth, wenn sich die Wasserdünste zu verdichten beginnen, und wir haben Regen zu erwarten.

5. Die Höfe um Sonne und Mond; Nebensonnen und Nebenmonde.

Sie entstehen wahrscheinlich durch die Brechung des Lichtes in den Dunstbläschen oder in Eisnadeln, welche in der Atmosphäre schweben.

Digitized by Google

§ 122. Die bleibenden Farben.

Wenn ein Körper fast gar kein Licht zurückwirft, so erscheint er fast *schwarz*; wirft er das weiße Sonnenlicht unzersetzt zurück, so erscheint er dem Auge *weiß*; wirft er nur wenig weißes Licht zurück, so erscheint er *grau*. Sehr viele Körper aber werfen, indem sie das auf sie fallende Sonnenlicht zersetzen, vorzugsweise nur *eine* Farbe oder ein Gemisch von einigen Farben zurück, während sie die übrigen Farbenstrahlen gleichsam verschlucken (absorbiren). Solche Körper werden, wenn sie sich pulverisiren und in einer Flüssigkeit (Wasser, Weingeist, Oel u. dgl.) auflösen lassen oder schon in Thier- oder Pflanzensäften aufgelöset sind, als *Malerfarben* benutzt. — In der Natur existirt weder ein völlig schwarzer, noch ein völlig weißer Körper, ebensowenig ein vollkommen rother, blauer u. s. w. *Durchsichtige Körper* lassen entweder das Licht unzersetzt durchgehen, und heißen dann *wasserhell*, oder sie lassen nur Strahlen von bestimmten Farben durch, während sie die übrigen verschlucken, und erscheinen daher *gefärbt*.

Es giebt nur drei *Haupt-* oder *Grundfarben*: *Roth*, *Gelb* und *Blau*; die übrigen Farben kann man durch Vermischung derselben erzeugen. Roth und Gelb giebt Orange, Gelb und Blau giebt Grün, Blau und Roth giebt Violett. Daß dies der Fall sei, kann man nicht allein durch wirkliche Vermischung der Farbstoffe beweisen, sondern auch indem man sie nur für das Auge vermischt. Wenn man die obere Kreisfläche eines Kreisels, wie ihn die Kinder als Spielzeug benutzen, halb roth, halb gelb bemalt, oder halb mit rothem, halb mit gelbem Papier beklebt, und den Kreisel tanzen läßt, so erscheint die Fläche orange gefärbt u. s. w. Theilt man die Kreisfläche in sieben Kreisausschnitte, indem man jeder Farbe so viel Raum giebt, als sie in dem Sonnenspectrum einnimmt (§ 117), so erscheint der tanzende Kreisel weißlichgrau, da die angewandten Farbestoffe nie rein genug sind, um ein vollkommenes Weiß zu geben, und da im Sonnenspectrum die Farben so allmählig in einander

Digitized by Google

übergehen, daß man eigentlich deren weit mehr als sieben annehmen müßte.

Man kann die weiße Farbe auch schon aus zwei von den sechs (die beiden blauen Farben für Eine gerechnet) Regenbogenfarben erhalten, nämlich aus:

Roth und Grün — Gelb und Violett — Orange und Blau.

Diejenige Farbe, durch welche eine andere zu Weiß wird, heißt die Ergänzungsfarbe derselben; so ist Roth die Ergänzungsfarbe von Grün und umgekehrt Grün von Roth u. s. w. Will man Farben zweckmäßig zusammenstellen (z. B. in Blumensträußen, an Kleidungsstücken u. s. w.), so muß man die Ergänzungsfarben neben einander bringen, zu Roth also Grün, zu Gelb Violett, zu Orange Blau.

Wenn das Auge von irgend einer Farbe lebhaft angeregt ist, so fordert es gleichsam die Ergänzungsfarbe, und glaubt sie auf einem benachbarten weißen Grunde zu sehen, obgleich sie in Wahrheit nicht vorhanden ist. Blickt man z. B. gegen das Tageslicht durch ein einfarbiges Stück Glas oder Papier oder durch ein lebhaft gefärbtes seidenes Band, so erscheint ein Stückchen weißes Papier, welches man an der dem Auge zugekehrten Seite an die gefärbte Fläche hält, in der Ergänzungsfarbe. Das Weiße erscheint vor dem rothen Hintergrunde grün, vor grünem Hintergrunde roth, vor Gelb violett u. s. w. Je reiner und lebhafter der Gegenstand gefärbt und je reiner weiß das Papier ist, desto deutlicher tritt auf letzterem die Ergänzungsfarbe hervor. Dieselbe Erscheinung nimmt man wahr, wenn man einen rothen Streifen auf ein weißes Blatt Papier legt, denselben eine Zeitlang unverwandt ansieht, und dann wegnimmt, ohne die Richtung der Augen zu verändern: der von dem rothen Streifen bedeckt gewesene Fleck erscheint grün. Umgekehrt erzeugt ein grüner Streifen ein rothes Nachbild; Orange und Blau, Gelb und Violett rufen sich gegenseitig hervor. Zwischen gerötheten Wolken erscheint der Himmel grün. — Zündet man in einem finstern Zimmer zwei Lichter an, stellt sie so, daß ein Gegenstand, z. B. ein Buch, zwei an einander grenzende Schatten an die Wand

Digitized by Google

§ 122. Die bleibenden Farben.

Wenn ein Körper fast gar kein Licht zurückwirft, so erscheint er fast schwarz; wirft er das weiße Sonnenlicht unzerſetzt zurück, so erſcheint er dem Auge weiß; wirft er nur wenig weißes Licht zurück, so erſcheint er grau. Sehr viele Körper aber werfen, indem ſie das auf ſie fallende Sonnenlicht zerſetzen, vorzugsweiſe nur eine Farbe oder ein Gemiſch von einigen Farben zurück, während ſie die übrigen Farbenſtrahlen gleichſam verſchlucken (abſorbiren). Solche Körper werden, wenn ſie ſich pulveriſiren und in einer Flüſſigkeit (Waſſer, Weingeiſt, Oel u. dgl.) auflöſen laſſen oder ſchon in Thier- oder Pflanzenſäften aufgelöſet ſind, als Malerfarben benutzt. — In der Natur exiſtirt weder ein völlig ſchwarzer, noch ein völlig weißer Körper, ebenſowenig ein vollkommen rother, blauer u. ſ. w. Durchſichtige Körper laſſen entweder das Licht unzerſetzt durchgehen, und heißen dann waſſerhell, oder ſie laſſen nur Strahlen von beſtimmten Farben durch, während ſie die übrigen verſchlucken, und erſcheinen daher gefärbt.

Es giebt nur drei Haupt- oder Grundfarben: Roth, Gelb und Blau; die übrigen Farben kann man durch Vermiſchung derſelben erzeugen. Roth und Gelb giebt Orange, Gelb und Blau giebt Grün, Blau und Roth giebt Violett. Daß dies der Fall ſei, kann man nicht allein durch wirkliche Vermiſchung der Farbſtoffe beweiſen, ſondern auch indem man ſie nur für das Auge vermiſcht. Wenn man die obere Kreisfläche eines Kreiſels, wie ihn die Kinder als Spielzeug benutzen, halb roth, halb gelb bemalt, oder halb mit rothem, halb mit gelbem Papier beklebt, und den Kreiſel tanzen läßt, ſo erſcheint die Fläche orange gefärbt u. ſ. w. Theilt man die Kreisfläche in ſieben Kreisausſchnitte, indem man jeder Farbe ſo viel Raum giebt, als ſie in dem Sonnenſpectrum einnimmt (§ 117), ſo erſcheint der tanzende Kreiſel weißlichgrau, da die angewandten Farbeſtoffe nie rein genug ſind, um ein vollkommenes Weiß zu geben, und da im Sonnenſpectrum die Farben ſo allmählig in einander

Digitized by Google

übergehen, daß man eigentlich deren weit mehr als sieben annehmen müßte.

Man kann die weiße Farbe auch schon aus zwei von den sechs (die beiden blauen Farben für Eine gerechnet) Regenbogenfarben erhalten, nämlich aus:

Roth und Grün — Gelb und Violett — Orange und Blau.

Diejenige Farbe, durch welche eine andere zu Weiß wird, heißt die Ergänzungsfarbe derselben; so ist Roth die Ergänzungsfarbe von Grün und umgekehrt Grün von Roth u. s. w. Will man Farben zweckmäßig zusammenstellen (z. B. in Blumensträußen, an Kleidungsstücken u. s. w.), so muß man die Ergänzungsfarben neben einander bringen, zu Roth also Grün, zu Gelb Violett, zu Orange Blau.

Wenn das Auge von irgend einer Farbe lebhaft angeregt ist, so fordert es gleichsam die Ergänzungsfarbe, und glaubt sie auf einem benachbarten weißen Grunde zu sehen, obgleich sie in Wahrheit nicht vorhanden ist. Blickt man z. B. gegen das Tageslicht durch ein einfarbiges Stück Glas oder Papier oder durch ein lebhaft gefärbtes seidenes Band, so erscheint ein Stückchen weißes Papier, welches man an der dem Auge zugekehrten Seite an die gefärbte Fläche hält, in der Ergänzungsfarbe. Das Weiße erscheint vor dem rothen Hintergrunde grün, vor grünem Hintergrunde roth, vor Gelb violett u. s. w. Je reiner und lebhafter der Gegenstand gefärbt und je reiner weiß das Papier ist, desto deutlicher tritt auf letzterem die Ergänzungsfarbe hervor. Dieselbe Erscheinung nimmt man wahr, wenn man einen rothen Streifen auf ein weißes Blatt Papier legt, denselben eine Zeitlang unverwandt ansieht, und dann wegnimmt, ohne die Richtung der Augen zu verändern: der von dem rothen Streifen bedeckt gewesene Fleck erscheint grün. Umgekehrt erzeugt ein grüner Streifen ein rothes Nachbild; Orange und Blau, Gelb und Violett rufen sich gegenseitig hervor. Zwischen gerötheten Wolken erscheint der Himmel grün. — Zündet man in einem finstern Zimmer zwei Lichter an, stellt sie so, daß ein Gegenstand, z. B. ein Buch, zwei an einander grenzende Schatten an die Wand

Digitized by Google

wirft, und hält nun vor das eine Licht eine rothe Glasscheibe, so erscheint der betreffende Schatten roth, der andere aber grün, obschon er durch weißes Licht erzeugt wird.

VI. Die Natur des Lichtes. Interferenz und Beugung. Chemische Wirkungen des Lichtes.

§ 123.

Früher glaubte man, es gebe einen außerordentlich feinen körperlichen Stoff, den Lichtstoff, der so leicht sei, daß er auf keine noch so empfindliche Wage einwirke, den man deshalb einen unwägbaren Stoff nannte. Man nahm an, daß Theilchen dieser Lichtmaterie von jedem leuchtenden Körper mit ungeheurer Geschwindigkeit nach allen Seiten hin ausgesendet würden. Diese Ansicht von dem Wesen des Lichtes heißt die Emanations- oder Emissions- (Ausstrahlungs-) Theorie, oder nach ihrem Urheber die Newton'sche Theorie.

Gegenwärtig hat man dieselbe gänzlich aufgegeben, und man stellt sich die Entstehung des Lichtes der des Schalles ähnlich vor. So wie es keinen besonderen Schallstoff giebt, da der Schall nur eine Wirkung der Wellenbewegung der atmosphärischen Luft ist; so giebt es auch keinen Lichtstoff, sondern das Licht entsteht durch die Wellenbewegung des Aethers (Weltäthers), den man sich als einen den ganzen Weltraum sowie die Poren aller Körper erfüllenden unwägbaren Stoff vorstellt. Wie durch die Schwingungen elastischer Körper der Schall erzeugt wird, so sendet ein selbstleuchtender Körper nichts von seiner Masse in die Ferne, sondern er versetzt nur durch die Erzitterung seiner kleinsten Theile den Aether in wellenförmige Schwingungen, und wenn diese unser Auge berühren, so haben wir die Empfindung des Lichtes. — Wie die Schwingungen der Luft nur dann einen Schall verursachen, wenn sie mit einer bedeutenden Geschwindigkeit erfolgen (16 Doppelschwingungen in einer Secunde, § 83), so sind die Aetherschwingungen für uns nur wahrnehmbar, wenn sie mit einer solchen Ge-

Digitized by Google

schwindigkeit stattfinden, daß derselben 450 bis 800 Billionenll in der Secunde geschehen. — Wie die Schallwellen von einer Wand zurückgeworfen werden (§ 81), so werden die Lichtwellen von den Körpern reflectirt. — Diese durch alle neueren Forschungen bestätigte Auffassung der Natur des Lichtes heißt Undulations- oder Vibrations- (Lichtwellen-) Theorie, und sie ist zuerst von dem Holländer Huyghens aufgestellt worden.

Den schlagendsten Beweis für ihre Richtigkeit giebt folgender von dem Jesuiten Grimaldi zuerst angestellter Versuch. Er ließ durch eine feine Oeffnung im Fensterladen einen Lichtstrahl in ein verfinstertes Zimmer fallen, und fing das weiße runde Sonnenlicht auf einem Schirme auf. Hierauf bohrte er eine zweite Oeffnung in den Laden, welche der ersten so nahe war, daß der durch sie entstehende lichte Kreis auf dem genügend weit entfernten Schirme noch zum Theil mit dem zuerst entstandenen zusammenfiel. Es kam also Licht zu Licht, und man sollte meinen, der doppelt beleuchtete Punkt müsse doppelt hell erschienen sein. Dies war aber keineswegs der Fall. Es zeigten sich vielmehr in demselben dunkle Streifen, welche sofort verschwanden, wenn eine der Oeffnungen verschlossen wurde. Nimmermehr hätte dies geschehen können, wenn Lichtstoff zu Lichtstoff gekommen wäre; wohl aber, wenn — wie bei der Interferenz der Wasserwellen § 49. — ein Wellenberg des einen Lichtstrahls mit einem Wellenthale des andern zusammentraf, oder wenn die Aethertheilchen durch den einen Lichtstrahl nach oben, durch den andern nach unten getrieben wurden, mithin in Ruhe blieben. Man nennt diese Erscheinung die Interferenz des Lichts.

Eine andere eben so merkwürdige Erscheinung ist die Beugung des Lichtes, welche dadurch entsteht, daß das Licht bei dem Vorbeigehen bei undurchsichtigen Körpern von seinem geraden Wege abgelenkt und um jene herumgebeugt wird, wobei oft Farbenzerstreuung stattfindet. Grimaldi war ebenfalls der Entdecker dieser Thatsache. Einige hierher gehörige Versuche sind leicht anzustellen. Blickt man durch Flor, durch ein mit Bärlapp-

Digitized by Google

samen bestreutes Glas oder auch nur durch die zusammengezogenen Augenwimpern nach einem Lichte, so nimmt man die schönsten Farbenerscheinungen wahr.

Die ebenfalls sehr wichtige Lehre von der Polarisation des Lichtes müssen wir, da sie besondere Werkzeuge voraussetzt, ohne welche sie nicht genügend verstanden werden kann, hier völlig übergehen.

Dagegen gedenken wir schließlich noch einiger Wirkungen des Lichtes, welche wir chemische nennen, weil durch dieselben Veränderungen in dem Wesen der Körper hervorgebracht werden. Höchst bedeutsam ist der Einfluß, welchen das Licht auf Menschen, Thiere und Pflanzen ausübt. Sie alle kränkeln ohne Licht, bleiben bleich und farblos. Wie im Sonnenlichte eine ganz andere Lebensthätigkeit in der Pflanzenwelt stattfindet, als bei Nacht; wie die Leinwand durch das Licht gebleicht wird; wie mittelst der camera obscura bleibende Bilder erzeugt werden, die ihre Entstehung dem Lichte verdanken und noch so manches Andere finden wir in den Lehrbüchern der Chemie ausführlich abgehandelt. Welcher Zusammenhang endlich zwischen Licht und Wärme stattfindet, darüber wird uns der folgende Abschnitt Aufschluß gewähren.

§ 124. Fragen und Aufgaben zur Wiederholung.

1. Gieb leuchtende Körper an!
2. Nenne phosphorescirende Körper!
3. Was sind Lichtsauger?
4. Was sind durchsichtige, durchscheinende, undurchsichtige Körper?
5. Welches sind die drei Haupttheile der Optik oder der Lehre vom Lichte?
6. Wie heißt das Gesetz über den Weg des Lichtes?
7. Wie entsteht der Schatten?
8. Was versteht man unter Kernschatten, was unter Halbschatten?
9. Wie entstehen Mond- und Sonnenfinsternisse?
10. Nach welcher Himmelsgegend zu fällt bei uns niemals der Schatten eines Körpers im Sonnenlichte?
11. Wie theilt man die Menschen nach dem Schatten ein?
12. Wie berechnet man aus dem Schatten die Höhe eines Thurmes?
13. Wovon hängt die Stärke des Lichtes ab?

Digitized by Google

14. Wie heißt das Gesetz über die Abnahme der Lichtstärke bei zunehmender Entfernung von der Lichtquelle?
15. Beschreibe ein Photometer!
16. Wie groß ist die Geschwindigkeit des Lichtes?
17. Wie wurde dieselbe gefunden?
18. Sehen wir am Sternenhimmel, was sich so eben in der Sternenwelt zuträgt?
19. Was versteht man unter Katoptrik?
20. Was ist das Einfallsloth, der Einfallswinkel, der Zurückwerfungswinkel?
21. Welches sind die beiden Hauptgesetze für die Zurückwerfung des Lichtes?
22. Was ist ein Spiegel?
23. Warum sieht man einen von einer Spiegelfläche zurückgeworfenen Lichtstrahl auch in anderen Richtungen?
24. Wodurch werden uns die Körper sichtbar?
25. Wie entsteht die Morgen- und Abenddämmerung?
26. Welche Flächen können vorzüglich als Spiegel dienen?
27. Wie verfertigt man Glasspiegel?
28. Wie theilt man die Spiegel hinsichtlich der Krümmung ihrer Oberfläche ein?
29. In welcher Lage erblicken wir einen senkrechten Gegenstand in einem senkrechten, in einem wagrechten, in einem unter 45° geneigten Planspiegel?
30. Wo liegt das durch einen Planspiegel erzeugte Bild?
31. Warum kann man gewöhnliche Schrift in einem Spiegel nicht lesen?
32. Was versteht man unter Spiegelschrift?
33. Was wird durch Parallelspiegel bewirkt?
34. Beschreibe das Kaleidoscop, das Polemoscop und das Zauberperspectiv!
35. Was ist ein concaver (Hohl-) und was ein convexer Spiegel?
36. Was versteht man unter dem Brennpunkte eines Hohlspiegels, was aber unter seiner Brennweite?
37. Inwiefern dient der Hohlspiegel als Brennspiegel?
38. Wo muß die Lichtflamme stehen, wenn der Hohlspiegel als Erleuchtungsspiegel dienen soll?
39. Was sind subjective, was aber objective Bilder?
40. Gieb die verschiedenen Bilder an, welche durch einen Hohlspiegel erzeugt werden können!
41. Erkläre die wichtigsten derselben!
42. Was für Bilder giebt ein erhabener Spiegel?
43. In welcher Weise findet der erhabene Spiegel seine häufigste Anwendung?
44. Was versteht man unter Dioptrik?

Digitized by Google

45. Warum wird ein in einer Schale liegendes Geldstück, welches wir in einer bestimmten Entfernung nicht mehr erblicken, wieder sichtbar, wenn man Wasser in die Schale gießt?
46. Wie heißen die Hauptgesetze für die Brechung des Lichtes?
47. Wie wird durch die astronomische Strahlenbrechung der Tag verlängert?
48. Wie entsteht die Fata morgana?
49. Wie entsteht die Luftspiegelung auf dem Meere?
50. Wie aber auf dem Lande?
51. Wie wird das Licht durch Plangläser gebrochen?
52. Welche Lichtbrechung bewirkt das dreiseitige Prisma?
53. Was sind Linsengläser und welche Arten derselben giebt es?
54. Welchen Spiegeln gleichen erhabene Linsen hinsichtlich ihrer Wirkungen?
55. Welchen aber vertiefte Linsen?
56. Warum nennt man erhabene Linsen auch Sammelgläser, vertiefte hingegen Zerstreuungsgläser?
57. Mit welchen Linsen kann man physische Bilder erzeugen?
58. Beschreibe den Bau des menschlichen Auges!
59. Welches sind die schlimmsten Augenkrankheiten und worin bestehen sie?
60. Warum sehen wir die Gegenstände aufrecht, obschon das im Auge entstehende Bild verkehrt ist?
61. Warum sehen wir mit zwei Augen die Gegenstände einfach?
62. Wie kann man das Doppeltsehen bewerkstelligen?
63. Was versteht man unter dem blinden Punkte des Auges?
64. Was ist der Gesichtswinkel und was bewirkt er?
65. Was sind optische Täuschungen?
66. Warum erscheint der aufgehende Mond vergrößert?
67. Was ist die Parallaxe?
68. Warum sehen wir einen leuchtenden Kreis, wenn eine glühende Kohle rasch umgeschwungen wird?
69. Warum erscheint der Blitz als eine leuchtende Linie?
70. Was sind Thaumatropen?
71. Beschreibe die stroboscopischen oder Wunderscheiben!
72. Wie schützt sich das Auge vor zu starkem Lichte?
73. Was versteht man unter der Sehweite?
74. Worin besteht die Accomodationsfähigkeit des Auges?
75. Was für eine Brille braucht der Weitsichtige, was für eine der Kurzsichtige, und warum?
76. Beschreibe eine Loupe, ein einfaches und ein zusammengesetztes Mikroscop, ein Sonnen- und ein Knallgasmikroscop!
77. In welche beiden Abtheilungen zerfallen die Fernröhre?

Digitized by Google

78. Wie ist das Galileische (holländische), wie das Keplersche (Sternrohr) und wie das Erdfernrohr eingerichtet?
79. Beschreibe ein Spiegeltelescop!
80. Beschreibe den Guckkasten, die camera obscura, die camera lucida, die Zauberlaterne (laterna magica)!
81. Wie werden die Nebelbilder erzeugt? wie die Chromatropen?
82. Sieht man mit einem oder mit zwei Augen mehr?
83. Wie ist das Stereoscop eingerichtet?
84. Wie entsteht das farbige Sonnenspectrum?
85. Welches sind die sieben prismatischen Farben?
86. Wie stellt man farbenfreie (achromatische) Linsen her?
87. Wie entsteht der Regenbogen?
88. Wo erscheint er?
89. Wie hoch erhebt er sich?
90. Wie findet man am leichtesten seinen Mittelpunkt?
91. Nach welcher Himmelsgegend hin erblicken wir niemals einen Regenbogen?
92. Wie sind die Farben im Hauptregenbogen geordnet, wie im Nebenregenbogen?
93. Wie entstehen die Farben im Haupt-, wie im Nebenregenbogen?
94. Wodurch wird die Tageshelle erzeugt?
95. Woher rührt die Bläue des Himmels?
96. Wie entsteht das Morgen- und Abendroth?
97. Warum verspricht das Abendroth einen schönen Tag, das Morgenroth aber Regen?
98. Wie entstehen [illegible] Höfe um Sonne und Mond und die Nebensonnen und Ne[illegible]?
99. Erkläre die Entstehung der bleibenden Farben!
100. Sprich dich über die Ergänzungsfarben aus!
101. Welches ist die jetzt allgemein angenommene Theorie von der Natur des Lichtes?
102. Welches war die frühere Ansicht?
103. Wieviele Schwingungen macht das Licht in einer Secunde?
104. Erkläre, was man unter der Interferenz des Lichtes versteht!
105. Was ist die Beugung des Lichtes?
106. Nenne einige chemische Wirkungen des Lichtes!

Digitized by Google

Dritter Abschnitt.

Die Wärme.

§ 125. Die Wahrnehmung der Wärme durch das Gefühl.

Wir Erdenbewohner sind im hohen Grade von den Einflüssen der uns umgebenden Natur abhängig; insbesondere ist zu unserem Wohlbefinden ein gewisser Grad von Wärme erforderlich. Fühlen wir ein Uebermaß derselben, so beklagen wir uns über Hitze; empfinden wir einen Mangel an Wärme, so belästiget uns die Kälte. Die verschiedenen Wärmegrade bezeichnen wir mit dem Ausdrucke: Temperatur.

Indem wir die Frage, was die Wärme sei, einstweilen unbeantwortet lassen, wenden wir sofort unsere Aufmerksamkeit 1) auf die Erregungsmittel der Wärme; 2) auf den Einfluß, welchen die Wärme auf die Körper ausübt; 3) auf Instrumente, Maschinen und Naturerscheinungen, bei denen die Wärme thätig ist, und 4) auf die Art und Weise, wie sich die Wärme verbreitet.

I. Die Erregungsmittel der Wärme.

§ 126. Wärme wird erzeugt durch die Sonnenstrahlen.

Daß die Sonne mit ihrem Lichte zugleich uns Wärme spendet, ja, daß sie der Hauptquell der Wärme für uns ist, weiß Jedermann.

Die erwärmende Kraft der Sonne hängt übrigens nicht von der größeren oder geringeren Entfernung derselben von der Erde ab, sonst müßte es im Winter am wärmsten sein, da wir in dieser Jahreszeit der Sonne um eine Million Meilen näher sind, als im Sommer. Wer Berge besteigt, wer sich in einem Luftballon über die Oberfläche der Erde erhebt, empfindet eine fortwährende Abnahme der Wärme, und die Gipfel hoher Gebirge sind jahraus jahrein mit Schnee und Eis bedeckt.

Digitized by Google

Am Morgen und am Abende wird die Erde von sehr schräg auffallenden Sonnenstrahlen getroffen, und wir haben die kühleren Stunden des Tages. Je höher die Sonne am Himmel steht, je senkrechter also ihre Strahlen herabkommen, desto mehr nimmt die Wärme zu; daher sind die Mittagsstunden am wärmsten.

Im Winter erhebt sich die Sonne nur in einem kleinen Bogen über den Horizont, ihre Strahlen schießen den ganzen Tag über und selbst am Mittage nur sehr schräg auf uns herab, während dieselben im Sommer weit mehr der senkrechten Richtung sich nähern. Die Folge davon ist, daß wir im Sommer eine weit bedeutendere Wärme empfinden, als im Winter.

In der zwischen den Wendekreisen liegenden Zone steht die Mittagssonne im Scheitelpunkte der Menschen oder doch demselben sehr nahe, so daß die Sonnenstrahlen völlig oder fast senkrecht herabschießen: dort wird die Hitze unerträglich. Die Polargegenden empfangen stets sehr schräge Sonnenstrahlen: sie werden nur in sehr geringem Grade erwärmt.

Während der Schnee des Winters auf unsern Straßen liegen bleibt, schmilzt er oft auf der Südseite der Dächer, welche von den Strahlen der Sonne fast rechtwinkelig getroffen werden.

Aus diesen Allen folgt:

Die Sonnenstrahlen erwärmen einen Körper um so mehr, je senkrechter sie ihn treffen.

Auch die Dauer der Einwirkung der Sonnenstrahlen ist von bedeutendem Einflusse auf die durch sie erzeugte Wärme. Daher erreicht die Luft in den nach den Polen zu gelegenen Erdstrichen im Sommer, wenn die Sonne 20 und mehr Stunden, ja weiter hinauf wochenlang über dem Horizonte bleibt, einen ansehnlichen Wärmegrad.

Obschon die Sonne Mittags um 12 Uhr ihren höchsten Stand hat und demgemäß die größte Wärme erzeugt, so tritt doch die höchste Tagestemperatur erst zwischen 2 und 3 Uhr Nachmittags ein, weil zu der vorhandenen Wärme in den ersten Nachmittagsstunden immer noch viele neue hinzukommt. Aus

Digitized by Google

demselben Grunde ist der Juli unser heißester Monat, obschon die Sonne im Juni am höchsten steht.

Wenn die Sonnenstrahlen durch Hohlspiegel (§ 100) und erhabene Linsen (§ 110) auf einen Punkt vereinigt werden, in jenen durch Zurückwerfung, in diesen durch Brechung, so wird gleichzeitig auch die Wärme concentrirt, und man kann — wie in den angeführten Paragraphen bereits mitgetheilt wurde — ungewöhnlich hohe Wärmegrade erzeugen, so daß nicht nur leicht entzündliche Stoffe in Brand gerathen, sondern sogar Diamanten verbrennen.

§ 127. Wärme wird erzeugt durch Reibung und Zusammenpressung.

Wenn sich die Räder an Wagen und Maschinen bei schneller Bewegung heftig reiben, so werden sie so heiß, daß sie zuletzt in Brand gerathen. Durch die Reibung der Mühlsteine, denen man Getreide aufzuschütten unterlassen hat, sind schon Mühlwerke in Flammen aufgegangen. Bohrer und Sägen erwärmen sich bei dem Gebrauche, ebenso die Kanonen beim Ausbohren der Röhren, Münzen beim Prägen, Messer, Glaswaaren und Edelsteine beim Schleifen. Selbst Eisstücke schmelzen, wenn sie an einander gerieben werden. Wer an einem langen Seile herabgleitet, verbrennt sich die Hände oft heftig. Will man den Hals einer Flasche absprengen, so klebt man ein Paar starke Papierstreifen in einer geringen Entfernung von einander um denselben, schlingt einen Bindfaden um den frei gelassenen Raum, und zwei Personen, welche die Enden des Fadens fassen, ziehen denselben eine Zeitlang kräftig hin und her, während eine dritte die Flasche festhält. Nicht selten zerreißt dabei der festeste Bindfaden, weil er bis zum Verkohlen erhitzt wird; der geriebene Theil des Glases aber ist ebenfalls so erhitzt, daß der Flaschenhals dort glatt abspringt, wenn man rasch kaltes Wasser darauf gießt. Frieren wir im Winter an die Hände, so erwärmen wir dieselben, indem wir sie an einander reiben. Der Feuerstein reißt Stahlstückchen vom Feuersteine, welche als glühende Funken auf

Digitized by Google

den Zunder fallen, und diesen in Brand setzen. Die Wilden machen Feuer an, indem sie zwei Holzstücke von ungleicher Härte sehr schnell an einander reiben, oder indem sie in das Loch eines größeren ein kleineres stecken und dasselbe schnell umdrehen. Der an Reibzündhölzchen und Reibschwämmen befindliche Phosphor wird durch Reibung entzündet. Drechsler brennen schwarze Ringe als Zierrath in ihre runden Waaren, indem sie dieselben auf der Drechselbank rasch drehen, und ein Stück hartes Holz daran halten.

Aus allen diesen Beispielen ergiebt sich:

Durch Reibung wird Wärme erzeugt.

Mit den besprochenen Erscheinungen verwandt sind diejenigen, bei denen durch Zusammenpressung hohe Wärmegrade entstehen. So wird z. B. kaltes Eisen durch heftiges Hämmern erhitzt. Das pneumatische Feuerzeug oder die Mollet'sche Pumpe besteht aus einer Röhre mit einem luftdicht schließenden Kolben, an welchem ein Stückchen Feuerschwamm befestigt ist. Wenn man die Röhre an eine Wand stemmt und den Kolben kräftig hineinstößt, entzündet sich der Schwamm in Folge der heftigen Zusammenpressung der Luft.

§ 128. Wärme wird erzeugt durch viele chemische Prozesse.

Wenn sich zwei Körper dergestalt mit einander verbinden, daß aus ihnen ein neuer Körper entsteht, so nennt man diesen Vorgang einen chemischen Prozeß. Bei solchen Vorgängen wird oft so viele Wärme erzeugt, daß Feuererscheinungen stattfinden.

Gießt man Schwefelsäure in Wasser, so erwärmt sich das Gefäß; kehrt man den Versuch um, indem man Wasser in Schwefelsäure gießt, so wird die Erhitzung leicht so bedeutend, daß das Gefäß zerspringt.

Begießt man — wie es die Maurer bei dem sogenannten Kalklöschen thun — gebrannten Kalk mit Wasser, so verbindet sich das Wasser mit dem Kalk zu einem Körper von anderer Beschaffenheit; bei diesem heftigen chemischen Prozesse geräth die ganze Masse ins Kochen.

Digitized by Google

Mischt man angefeuchtete Eisenfeilspäne mit Schwefelpulver, so tritt eine heftige Erhitzung ein.

Die früher allgemein üblichen Tauchfeuerzeuge enthielten concentrirte Schwefelsäure in einem Fläschchen. Die Zündhölzchen waren mit einer Masse versehen, deren Hauptbestandtheile Schwefel und ein Salz — chlorsaures Kali — ausmachten. Der durch das Eintauchen dieses Salzes in die Schwefelsäure hervorgerufene chemische Prozeß bewirkte eine so heftige Hitze, daß der Schwefel und durch diesen das Hölzchen in Brand gerieth.

Diese Beispiele zeigen, daß es wahr sei, was die Ueberschrift besagt:

Durch viele chemische Prozesse wird Wärme erzeugt.

Einer der wichtigsten chemischen Prozesse, durch welchen wir absichtlich einen möglichst hohen Wärmegrad erzeugen, ist die Verbrennung unserer Heizstoffe. Der chemische Vorgang dabei besteht in ihrer Verbindung mit dem in der atmosphärischen Luft enthaltenen und einen Haupttheil derselben ausmachenden Sauerstoffgase. Man hat die Leistungsfähigkeit der gewöhnlichsten Brennmaterialien dergestalt geprüft, daß man untersuchte, wieviele Pfunde eiskaltes Wasser man mit einem Pfunde derselben zum Sieden bringen kann. Dabei hat man gefunden, daß ein Pfund geringer Torf hinreicht, um 15 Pfund Wasser in die Siedhitze zu bringen; ein Pfund vom besten Torf leistet das Doppelte; von gutem, trockenem Holze bringt man mittelst eines Pfundes 36 Pfund Wasser zum Sieden, mit Steinkohlen 60—70 Pfund, mit den besten Holzkohlen 73 Pfund.

Während wir bei unseren Brennstoffen die Entstehung der Wärme beabsichtigen, treten auch oft Fälle ein, wo gegen unsern Willen und zu unserm Nachtheile in Folge chemischer Vorgänge solche Hitze entsteht, daß Selbstentzündung der Körper stattfindet. Ein Gemenge von Firniß oder Hanföl und Kienruß, gefettete Wolle, fest aufgeschichtetes feuchtes Heu, Dünger, Kohlenpulver u. dgl. sind schon öfter ohne äußere Veranlassung in Brand gerathen. Schauerlich sind solche Selbstentzündungen, wenn sie den Körper eines lebenden Menschen betreffen, wie

Digitized by Google

dies in mehreren Fällen besonders bei Branntweinsäufern geschehen ist.

Indem wir schließlich noch erwähnen, daß die zum Bestehen des menschlichen und höher organisirten thierischen Lebens unentbehrliche Blutwärme ebenfalls durch chemische Prozesse erzeugt wird, verweisen wir auf die ausführlichere Belehrung, welche in Lehrbüchern der Chemie zu finden ist (z. B. in des Verfassers Laienchemie so wie in dessen kleiner Chemie).

§ 129. Die eigenthümliche Wärme der Erde.

Je tiefer man in den Schooß der Erde hinabsteigt, desto wärmer wird es, so daß es scheint, als müsse der innere Theil der Erdkugel sich in feurigem Flusse befinden. Daher mag es auch kommen, daß das Wasser sehr vieler Quellen warm, ja bei manchen kochend heiß ist. Die artesischen Brunnen (§ 55) haben stets eine höhere Temperatur, als die an der Oberfläche der Erde befindlichen Gewässer; ja man kann sagen, daß die Wärme aller Quellen mehr beträgt, als die mittlere Wärme des Ortes, an welchem sie zu Tage kommen, — daher scheinen sie im Sommer kalt, im Winter warm, obgleich ihre Temperatur das ganze Jahr hindurch dieselbe bleibt.

Zu den berühmtesten heißen und warmen Quellen gehört der Geyser auf der Insel Island, dessen Wasser Siedehitze hat; die Heilquellen von Burtscheid haben eine Wärme von 78°, Karlsbad 74, Wiesbaden 70, Baden 67, Aachen 44—57, Ems 56, Teplitz 48, Warmbrunn 37° — sämmtlich nach dem 100theiligen Thermometer (§ 133). — Im nördlichen Sibirien beobachtete man bei einer Tiefe von 7 Fuß eine Temperatur von — 18°, bei 350 Fuß Tiefe aber — 3°. Die eigenthümliche Wärme des Erdkörpers scheint langsam abzunehmen — er scheint im Erkalten begriffen zu sein. Aus unseren Steinkohlenlagern, in denen man oft verkohlte Stämme von Gewächsen der heißen Zone findet, ebenso aus den Ueberresten ausgestorbener oder noch vorhandener Thiergeschlechter — man findet z. B. im Eise Sibiriens Gerippe von Elephanten — glaubt man schließen zu

Digitized by Google

dürfen, daß einst die ganze Erde einen ungleich höheren Wärmegrad besessen habe.

II. Der Einfluß der Wärme auf die Körper.

§ 130. Wärme dehnt alle festen Körper aus.

Wenn der Klumpen (Bolzen) des Plätteisens kalt ist, hat er soviel Spielraum in seiner Kapsel, daß er schlottert; ist er glühend gemacht, so füllt er dieselbe völlig aus. Er ist mithin im glühenden Zustande größer, als im kalten. — Wenn der Schmied ein Rad beschlägt, so legt er den glühenden Reifen lose um den Radkranz; beim Erkalten wird der Reifen kleiner, und umschließt das Rad sehr fest. — Glasstöpsel sitzen zuweilen so fest in einem Flaschenhalse, daß sie nicht mehr herausgehen. Erhitzt man den Flaschenhals durch rasches Hin- und Herziehen eines um denselben geschlungenen Bindfadens, so erweitert er sich und der Pfropfen wird locker. — Der von dem Nagelschmiede fest ins Nageleisen gehämmerte Nagel springt leicht heraus, wenn er erkaltet ist. — Metallgußwaaren, z. B. zinnerne Teller, Löffel u. s. w., füllen nach dem Erkalten die Form, in welcher sie gegossen wurden, nicht mehr völlig aus. — Gewichtuhren, deren Pendel ein einfacher Metallstab ist, gehen im heißen Sommer langsamer, als in der Winterkälte, weil das erwärmte Pendel länger ist, als das kalte. — Die Saiten des Klaviers verlängern sich in der Wärme, ihr Ton wird daher vertieft und das Instrument verstimmt sich. In der Winterkälte verstimmt es sich in Folge des Kürzerwerdens der Saiten, wobei der Ton höher wird. — An der Verbindungsstelle je zweier Eisenbahnschienen muß eine kleine Lücke sein, damit dieselben Raum haben, in der Wärme sich auszudehnen. Bei strenger Winterkälte sind diese Lücken größer, als im Sommer. — Diese Beispiele zeigen:

Durch Wärme werden alle festen Körper ausgedehnt; nimmt die Wärme ab, so ziehen sie sich zusammen.

Weniger gut drückt man dies aus: Wärme dehnt die Körper aus, Kälte zieht sie zusammen. Die Wärme ist nämlich etwas

Digitized by Google

wirklich Vorhandenes, Kälte aber ist nichts weiter als ein sehr geringer Grad von Wärme, mithin nicht etwas der Wärme Entgegengesetztes. Ob es einen Körper ohne alle Wärme giebt, wissen wir nicht.

Wird die Ausdehnung eines festen Körpers durch die Wärme bis zu einem gewissen Grade fortgesetzt, so hört er auf, *fest* zu sein, er *schmilzt*, und verwandelt sich in einen flüssigen Körper; nimmt aber die Wärme wieder ab, so wird er wiederum fest, er *erstarrt*.

Diese Erscheinung nehmen wir im täglichen Leben sehr oft wahr, und sie ist in vielen Fällen von großer Wichtigkeit für uns. Manche Körper schmelzen schon bei einer geringen Wärme, z. B. Butter, Fett, Wachs und unter den Metallen Blei und Zinn, so wie besonders manche Metallmischungen. Das sogenannte *Schnellloth*, mit welchem der Klemptner seine Waaren löthet, besteht aus zwei Theilen Zinn und einem Theil Blei. Das *Rose'sche Metall*, aus 2 Theilen Wismuth, 1 Theil Blei und 1 Theil Zinn zusammengesetzt, schmilzt schon im kochenden Wasser. Man unterscheidet daher *leicht-* und *strengflüssige* Körper.

Schmelzen wir ein Stückchen Blei oder Zinn in einem Löffel, so bemerken wir, daß es *plötzlich* flüssig wird; ein Stück Butter dagegen (ebenso Wachs und Fett) wird zuvor *weich*. In ähnlicher Weise verhält sich das *Eisen*. Während dasselbe zum Schmelzen eine ungemein große Hitze erfordert, wird es in geringerer Hitze weich, und läßt sich in diesem Zustande *schweißen*, d. h. man kann zwei Stücke zu einem einzigen zusammenhämmern.

Da die festen Körper, wenn sie schmelzen sollen, eine bedeutende Quantität von Wärme in sich aufnehmen — gleichsam verschlucken — müssen, so entziehen sie dieselbe ihrer Umgebung. Daraus erklärt sich die kühle Witterung des Frühjahrs, denn Schnee und Eis, welche in dieser Jahreszeit in Folge der erhöhten Sonnenwärme schmelzen, rauben die zu ihrem Flüssigwerden erforderliche Wärme der Luft. Hierdurch wird ein

Digitized by Google

plötzlicher Uebergang von der Winterkälte zur Sommerwärme, der allem Lebenden Nachtheil bringen müßte, verhindert.

Die Wärme, welche ein fester Körper, wenn er schmilzt, in sich aufnimmt und ohne welche er nicht flüssig bleiben kann, wird gebundene oder verborgene (latente) Wärme genannt, weil sie mit unserem Gefühle nicht wahrgenommen und mit dem Thermometer nicht nachgewiesen werden kann. Läßt man pulverisirtes Eis in einem Topfe am Ofen schmelzen, so zeigt ein in die Flüssigkeit getauchtes Thermometer so lange 0°, bis das Eis vollständig zergangen ist. Alle Wärme, welche bis dahin in den Topf überging, diente nur dazu, den starren Körper flüssig zu machen, wurde gleichsam von ihm verschluckt, und ist in dem tropfbaren Wasser verborgen, ohne daß dasselbe wärmer geworden ist. — Stellt man nun ein Pfund dieses Schmelzwassers in einem Topfe auf die heiße Platte, und daneben in einem eben solchen Topfe ein Pfund Eis, so daß der Inhalt beider Gefäße eine Temperatur von 0° hat, und nimmt sie aus dem Ofen, sobald das Eis zergangen ist, so hat das Wasser in dem ersten Topfe eine Wärme von + 63° R. erlangt, während das Schmelzwasser im zweiten Topfe 0° zeigt. Da in beide Gefäße gleichviel Wärme eingedrungen ist, so hat das Pfund Eis 63° Wärme verschluckt, um flüssig zu werden. — Rührt man jetzt schnell unter das auf 63° erhitzte Wasser wieder ein Pfund Eis von 0°, so hat die ganze Masse, sobald das Eis zergangen ist, eine Temperatur von 0°; auch hier hat das Eis also dem Wasser 63° Wärme entzogen, um flüssig zu werden. — Aus diesem allen ergiebt sich, daß ein Pfund Wasser von Null Grad 63° Wärme mehr enthält, als ein Pfund Eis von 0°.

Geht nun umgekehrt ein flüssiger Körper in die starre Form über, gefriert z. B. das Wasser, so wird die gebundene Wärme frei; daher erhöht sich die Temperatur in der Umgebung eines erstarrenden Körpers. Auf diese Weise wird ein allmähliger Uebergang von der Sommerwärme zur Winterkälte herbeigeführt. — Das Freiwerden der latenten Wärme des Wassers bei seinem Uebergange in die starre Form zeigt sich recht auffallend beim

Digitized by Google

Kalklöschen. Bei dieser Operation verbindet sich das auf den gebrannten Kalk gegossene Wasser mit demselben zu einem festen Körper, und die frei gewordene Wärme zeigt sich in der heftigen Erhitzung des gelöschten Kalkes.

Wenn die Hausfrauen Obst abbacken oder an der Sonne dörren, so wird sein Umfang geringer, es schrumpft zusammen. Ebenso wird der Umfang der Töpferwaaren geringer, wenn sie in den Brennofen kommen. In diesen Fällen scheint das Naturgesetz, daß Wärme alle festen Körper ausdehne, eine Ausnahme zu erleiden. Dies ist jedoch nicht der Fall; das Kleinerwerden der genannten Körper ist nur eine Folge der Verdampfung der in ihnen enthaltenen Feuchtigkeit. In vollkommen trockenem Zustande gehorchen auch sie dem allgemeinen Gesetze der Ausdehnung durch die Wärme.

Erfolgt die Ausdehnung eines Körpers durch die Wärme ungleichmäßig, so daß ein Theil desselben heftiger erwärmt wird, als der andere, so biegt er sich — wie wir dies an Brettern, Pappdeckeln u. s. w. wahrnehmen, welche auf einer Seite der Sonne ausgesetzt oder dem heißen Ofen nahe sind. Ist aber der Körper spröde, d. h. wenig biegsam, so springt er entzwei, z. B. ein Glas, welches man auf die heiße Ofenplatte setzt oder in welches man eine kochende Flüssigkeit gießt. Daher legt man ein Blatt Papier unter das Glas, welches man auf die Ofenplatte stellt, damit sein Fuß nicht allzuplötzlich erwärmt werde, und man hält das Punschglas verkehrt über den heißen Dampf, damit es sich gleichmäßig ausdehne, bevor man das heiße Getränk eingießt.

§ 131. Wärme dehnt alle tropfbarflüssigen Körper aus.

Stellt man einen fast vollen Topf mit Wasser oder Milch ans Feuer, so steigt die Flüssigkeit empor und läuft über, wenn sie erhitzt wird. Läßt man einen mit heißem Wasser angefüllten Topf ruhig stehen, bis das Wasser erkaltet ist, so füllt es den Topf nicht mehr aus. Ein Faß Spiritus, welches in der Hitze des Sommers gefüllt wird, ist im kalten Winter nicht mehr voll.

Digitized by Google

Hundert Quart Spiritus, bei großer Kälte abgemessen, geben im heißen Sommer 105 Quart. Mithin gilt das Gesetz, daß die Körper durch Wärme ausgedehnt werden, auch für die tropfbaren Flüssigkeiten.

Wärme dehnt alle tropfbarflüssigen Körper aus.

Eine nicht bloß scheinbare, sondern wirkliche Ausnahme von diesem Gesetze bildet das Wasser innerhalb gewisser Wärmegrade.

Man fülle eine weithalsige Flasche mit eiskaltem Wasser — so daß ein hineingehaltenes Thermometer 0^0 zeigt — und verstopfe sie mit einem durchbohrten Korke, durch welchen eine Glasröhre gesteckt ist, so daß sie bis in das Wasser hinabreicht, über den Kork aber mehrere Zoll vorsteht. Hierauf gieße man noch etwas Wasser in die Röhre, so daß sie etwa halb voll wird. Erwärmt man nun die Flasche langsam und vorsichtig, so nimmt man die überraschende Erscheinung wahr, daß das Wasser in der Röhre nicht steigt, sondern vielmehr fällt. Bei weiterer Erwärmung beginnt es jedoch zu steigen, und füllt die Röhre bis oben an. Nun entfernt man die Flasche vom Feuer und läßt sie ruhig erkalten. Das Wasser in der Röhre sinkt eine Zeitlang, dann aber fängt es wieder an zu steigen, und dies Steigen dauert fort, bis das Wasser, wenn die erforderliche Kälte dargestellt werden kann, gefriert, wobei es sich plötzlich sehr bedeutend ausdehnt. Eine Untersuchung mittelst des Thermometers ergiebt, daß das Wasser bei $+ 4^0$ C. (etwa $+ 3^0$ R.) am niedrigsten steht, also am dichtesten ist, und daß es sich ausdehnt, wenn es kälter oder wärmer wird.

Diese Eigenthümlichkeit des Wassers ist von der größten Bedeutsamkeit im Haushalte der Natur. Gehorchte dasselbe ohne Weiteres dem allgemeinen Naturgesetze, wäre es also um so dichter und schwerer, je kälter es wäre, so würden im Winter in unseren Gewässern die an der kalten Luft am meisten abgekühlten Wasserschichten zu Boden sinken und zu Eis erstarren; die Flüsse und Seen würden mithin von unten auf gefrieren und alle in denselben lebenden Geschöpfe müßten umkommen.

Digitized by Google

Da aber das + 4° warme Wasser zu Boden sinkt, so kann das Gefrieren nicht von unten auf erfolgen, und in der Tiefe befindet sich stets Wasser von 4 Grad Wärme.

Da sich das Wasser bei dem Erkalten immer mehr ausdehnt, so nimmt das Eis einen größeren Raum ein, als die Wassermenge, aus welcher es entstanden ist. Daher ist Eis leichter als Wasser und schwimmt auf demselben. Aus demselben Grunde zerspringen Flaschen, Gläser und Töpfe, wenn das in ihnen enthaltene Wasser gefriert, selbst starke eiserne Hohlkugeln werden mit großer Heftigkeit zersprengt; eben so werden Felsen, in deren Spalten Wasser gefriert, aus einander gerissen. Andererseits wirkt der Frost sehr wohlthätig auf die Auflockerung des festen Erdreichs ein.

Bei der Eisbildung wird die Wärme, welche das Wasser flüssig erhielt, frei. Daher erhöht sich die Temperatur in der Umgebung eines gefrierenden Gewässers.

Noch ist hinsichtlich der Eisbildung zu bemerken, daß dieselbe in Gefäßen und in stehenden Gewässern von oben herab, in Flüssen aber auch am Grunde beginnt. Durch die Strömung des Wassers werden nämlich auch kältere Wasserschichten nach unten geführt, und fangen an Steinen, Pfählen u. dgl. zu gefrieren an. Dieses sogenannte Grundeis wird losgerissen, steigt wegen seiner Leichtigkeit empor, bleibt an den Ufern hängen, und verbindet sich mit dem dort gebildeten Eise, bis die zusammenhängende Eisdecke das weitere Eindringen der Kälte in die Tiefe hindert, weshalb die Bildung des Grundeises aufhört.

Wird die Erwärmung eines tropfbarflüssigen Körpers bis zu einem gewissen Grade gesteigert, so wird er nicht mehr heißer, sondern er fängt an zu sieden und verwandelt sich in Dampf, wird also luftförmig. Davon wird weiter unten (§ 136 ff.) ausführlicher die Rede sein. Für jetzt begnügen wir uns mit der Erfahrung:

Durch Wärme werden feste Körper tropfbarflüssig, tropfbarflüssige aber luftförmig. Durch Entziehung von Wärme werden viele luftförmige Körper tropfbarflüssig, tropfbarflüssige aber fest.

Digitized by Google

Starres Wasser (Eis) und Wärme giebt tropfbarflüssiges Wasser.

Tropfbarflüssiges Wasser und Wärme giebt Wasserdampf.

Wasserdampf, welchem Wärme entzogen wird, wird zu tropfbarflüssigem Wasser.

Tropfbarflüssiges Wasser, welchem Wärme entzogen wird, wird fest (Eis).

§ 132. Wärme dehnt alle luftförmigen Körper aus.

Hängt man eine fest zugebundene Thierblase, in welcher sich nur wenig Luft befindet, die also schlaff ist, an den warmen Ofen, so schwillt sie an. — Wenn man eine Flasche Bier aus dem kühlen Keller in ein warmes Zimmer bringt, oder sie an die Sonne stellt, fliegt der Pfropf mit lautem Knall heraus.

Im ersteren Falle ist es die von der Blase umschlossene atmosphärische Luft, im letzteren die in der Flasche enthaltene luftförmige Kohlensäure, welche durch die Wärme ausgedehnt werden.

Verstopft man ein zum Theil mit Wasser gefülltes Kochfläschchen — einen sogenannten Stehkolben — mit einem durchbohrten Korke, in welchen der eine Schenkel einer zweischenkeligen Glasröhre gesteckt ist, während der andere in ein Gefäß mit Wasser taucht, so dehnt sich, sobald man das Kochfläschchen mit der Weingeistlampe erwärmt, die in demselben befindliche Luft aus, und entweicht zum Theil durch die Röhre in das zweite Gefäß, so daß die Luftblasen aus dem Wasser emporsteigen. Nimmt man nun die Lampe hinweg, so drückt die äußere Luft das Wasser durch die Röhre in das Kochfläschchen zurück, wobei dasselbe oft in Folge der plötzlichen Abkühlung zerspringt.

Aus den angeführten Beispielen ergiebt sich:

Wärme dehnt auch die luftförmigen Körper aus.

Da bei ihnen kein Zusammenhang der Theile (keine Cohäsion) stattfindet, so erfolgt ihre Ausdehnung vollkommen gleichmäßig, was bei den festen Körpern fast gar nicht, bei tropfbarflüssigen nur selten der Fall ist.

Digitized by Google

Als Ergebniß unserer Beobachtungen sprechen wir nun das — mit der uns bekannt gewordenen alleinigen Ausnahme des Wassers — allgemein geltende Naturgesetz aus:

Durch Wärme werden alle Körper ausgedehnt.

Der große und bedeutsame Einfluß der Wärme auf die Pflanzen- und Thierkörper gehört in das Gebiet der Naturgeschichte, und kann hier, wo wir es vorzugsweise mit der unorganischen Körperwelt zu thun haben, nicht erörtert werden.

III. Instrumente, Maschinen und Naturerscheinungen, bei denen die Wärme thätig ist.

§ 133. Das Thermometer.

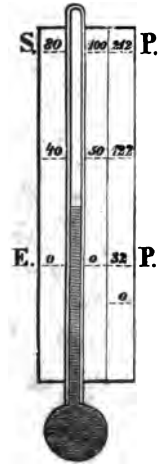
Unser Gefühl täuscht uns oft über den Wärmegrad eines Körpers, es ist also ein sehr unsicherer Wärmemesser. Dasselbe Wasser erscheint uns wärmer oder kälter, je nachdem wir einen gewöhnlich unbedeckten oder einen gewöhnlich bedeckten Theil des Körpers hineintauchen. Ein Kranker urtheilt in der Regel ganz anders über die Wärme eines Zimmers, als ein Gesunder. Die Luft in einem Keller ist das ganze Jahr hindurch von gleicher Wärme; dennoch halten wir sie im Winter für warm, im Sommer für kühl.

Es ist daher nothwendig, daß wir ein Instrument zum Messen der Wärme haben, welches von unserem Gefühl unabhängig ist, und dies ist das von dem Holländer Cornelius Drebbel ums Jahr 1630 erfundene und durch andere Naturforscher verbesserte Thermometer oder der Wärmemesser. In seiner gegenwärtigen Gestalt besteht es aus einer durchaus gleichweiten Glasröhre, an deren unterem Ende sich eine hohle Glaskugel befindet. Während das obere Ende noch offen ist, verdünnt man die Luft so viel als möglich durch Erhitzung der Kugel und der Röhre, und taucht dann das offene Ende in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß; der Druck der äußeren Luft treibt das Quecksilber in die Röhre, welche man über der Gebläselampe zuschmelzt. Hierauf taucht man Kugel und Röhre in ein Gefäß mit

Digitized by Google

Wasser, in welchem Eis schmilzt, und bezeichnet den Punkt, auf welchen sich das Quecksilber stellt, mit dem Worte Eispunkt (Gefrierpunkt). Nun hält man die Kugel in siedendes Wasser; das Quecksilber steigt bedeutend und bleibt dann stehen. Der betreffende Punkt wird als Siedepunkt bezeichnet. Bei der Bestimmung desselben darf auch der Luftdruck nicht außer Acht gelassen werden, da er bei 29″ Barometerstand ungefähr 1^0 höher, bei 27″ aber 1^0 niedriger ist, als bei dem mittleren Barometerstande von 28″. Endlich theilt man den Raum zwischen dem Eis- und Siedepunkte in gleichgroße Theile (Grade); vom Eispunkte nach unten macht man bis in die Nähe der Kugel eben so große Theile, und hat somit eine Scale gewonnen, nach welcher man die Wärmegrade bestimmen kann. Die Grade oberhalb des Eispunktes nennt man Wärmegrade, und bezeichnet sie mit dem Pluszeichen +; die Grade unterhalb des Eispunktes werden mit dem Minuszeichen — angegeben und Kältegrade genannt.

Die Anzahl der Grade, in welche der Raum zwischen dem Eis- und dem Siedepunkte getheilt wird, ist willkührlich; doch sind drei Eintheilungsarten die üblichsten. Bei uns ist das Thermometer von Réaumur (spr.: Reohmür) am gebräuchlichsten; der Siedepunkt ist mit + 80^0 bezeichnet. Die Franzosen und die meisten Chemiker gebrauchen das Thermometer von Celsius, bei dem der Siedepunkt = + 100^0 ist. In England bedient man sich vorzüglich der Scala von Fahrenheit. Bei letzterer ist der Siedepunkt mit + 212^0 bezeichnet, doch kommen davon nur 180^0 auf den Raum zwischen dem Eis- und dem Siedepunkt; denn der gewöhnliche Eispunkt ist mit + 32^0 bezeichnet, da 0^0 einen künstlichen Gefrierpunkt anzeigt, auf welchen das Quecksilber in einer Kältemischung von drei Theilen Schnee und einem Theile Kochsalz sinkt.



Digitized by Google

Welches Thermometer gemeint sei, bezeichnet man mit einem der Anfangsbuchstaben R., C. oder F. Will man rasch die Grade eines dieser drei Thermometer in Grade eines anderen verwandeln, so muß man erwägen, daß 80^0 R. = 100^0 C. = 180^0 F. sind.

Mithin ist ein Grad R. = $^{100}/_{80} = {}^5/_4$ C. und $^{180}/_{80} = {}^9/_4$ F.;
ferner ist ein Grad C. = $^{80}/_{100} = {}^4/_5$ R. und $^{180}/_{100} = {}^9/_5$ F.;
endlich ist ein Grad F. = $^{80}/_{180} = {}^4/_9$ R. und $^{100}/_{180} = {}^5/_9$ C.

Demzufolge sind z. B.

$+ 15^0$ R. = $15 . {}^5/_4 = + 18{}^3/_4{}^0$ C. und
$- 10^0$ R. = $10 . {}^5/_4 = - 12{}^1/_2{}^0$ C.

ferner sind:

$+ 10^0$ C. = $10 . {}^4/_5 = + 8^0$ R. und
$- 20^0$ C. = $20 . {}^4/_5 = - 16^0$ R.

Bei Vergleichungen mit dem Fahrenheitschen Thermometer muß man die unter dem gewöhnlichen Eispunkte liegenden 32 Grade berücksichtigen. Es sind

$+ 12^0$ R. = $12 . {}^9/_4 = + 27^0$ F. über dem natürlichen Eispunkte; dazu 32^0 giebt $+ 59^0$ F.
$- 16^0$ R. = $16 . {}^9/_4 = - 36^0$ F. unter dem natürlichen Eispunkte; davon 32^0 giebt $- 4^0$ F.

ferner sind:

$+ 25^0$ C. = $25 . {}^9/_5 = 45$ und $32 = + 77^0$ F.
0^0 C. = $0 . {}^9/_5 = 0$ und $32 = + 32^0$ F. und
$- 15^0$ C. = $15 . {}^9/_5 = 27$ weniger $32 = - 5^0$ F.;

desgleichen sind:

$+ 90^0$F. = $+ 90$ weniger $32 = - 58 . {}^4/_9 = + 25{}^7/_9{}^0$R.
$+ 18^0$F. = $+ 18$ weniger $32 = - 14 . {}^4/_9 = - 6{}^2/_9{}^0$R.
$- 20^0$F. = $- 20$ und $32 = - 52 . {}^4/_9 = - 23{}^1/_9{}^0$R.

u. s. w.

Als allgemeine Regel präge man sich ein: Sind größere Grade in kleinere zu verwandeln (R. in C. oder F.; C. in F.), so muß mehr herauskommen; daher multiplicirt man mit der größeren und dividirt mit der kleineren Verhältnißzahl; sind dagegen kleinere Grade in größere zu verwandeln (C. in R.;

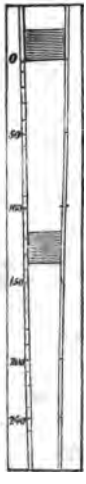
Digitized by Google

F. in C. oder R.), so muß weniger herauskommen; daher multiplicirt man mit der kleineren und dividirt mit der größeren Verhältnißzahl. Verwandelt man Fahrenheitsche Grade in andere, so addirt oder subtrahirt man vor der Berechnung 32; verwandelt man andere Grade in Fahrenheitsche, so addirt oder subtrahirt man 32 nach der Berechnung.

Aus dem Vorstehenden ergiebt sich, weshalb die in englischen Schriften und Reiseberichten angegebenen Wärmegrade dem Unkundigen ungewöhnlich hoch erscheinen, ohne es in Wirklichkeit zu sein. Eine Wärme von + 100° F. ist nur = $30^2/_9$° R. = $37^7/_9$° C.

Zur Messung bedeutender Kältegrade ist das Quecksilber-Thermometer nicht anwendbar, denn bei — 32° R. gefriert das Quecksilber und die Kugel zerspringt. Man gebraucht deshalb für diesen Zweck ein Weingeistthermometer, da der Spiritus bei keinem bekannten Kältegrade gefriert. Dagegen ist letzteres wieder nicht brauchbar in großer Hitze, denn einmal dehnt sich der Weingeist nicht gleichmäßig aus, dann aber verdampft der Spiritus sehr leicht und siedet schon bei + 62° R.

Die Blutwärme eines gesunden Menschen ist + 29° R., die angenehmste Luftwärme = + 15° R.



§ 134. Das Pyrometer.

Zur Bestimmung sehr hoher Hitzegrade, wie sie z. B. zum Schmelzen des Eisens, Kupfers u. s. w. erforderlich sind, kann das Thermometer nicht verwendet werden; es giebt überhaupt kein Instrument, welches für diesen Zweck vollkommen genügend wäre. Am häufigsten gebraucht man das Pyrometer (den Feuermesser) von Wedgewood. Man setzt nämlich Würfel oder Cylinder von solchem Thon, der sich in der Hitze recht gleichförmig zusammenzieht, der zu untersuchenden Temperatur aus. Nachdem sie schnell im Wasser abgekühlt sind, bringt man sie zwischen zwei schräg gegen einander

Digitized by Google

geneigte Lineale von Eisen oder Thon. Je tiefer sie hinein gehen, desto größer war die Hitze, in welcher sie sich befunden haben. An den Linealen aber ist eine Scala angebracht, nach welcher die Grade bestimmt werden. — Andere benutzen als Pyrometer Stangen von Platina, aus deren größerer oder geringerer Ausdehnung auf den Grad der Hitze in einem Brenn- oder Schmelzofen geschlossen werden kann, da Platina selbst im heftigsten Ofenfeuer nicht schmilzt.

§ 135. Die Strömungen der Luft.

Wenn man in der Nähe einer mit einem Cylinder versehenen brennenden Lampe Tabak raucht oder wenn man einen eben ausgeblasenen Wachsstock dem unteren Theile des Cylinders nähert, so steigt der Rauch oder Dampf durch den Cylinder in die Höhe.

Innerhalb des Cylinders und über demselben ist nämlich die Luft durch die Hitze der Flamme verdünnt. An der unteren Oeffnung des Cylinders übertrifft der Druck der äußeren Luft (von unten nach oben) den im Innern (von oben nach unten) stattfindenden Luftdruck um so viel, als der Gewichts-Unterschied zwischen der vom Cylinder eingeschlossenen verdünnten Luftsäule und einer gleichgroßen Luftsäule von der Dichtigkeit der äußeren Luft beträgt. Mit diesem Uebergewichte dringt die äußere Luft unten in den Cylinder ein und mit demselben strömt sie oben aus, so daß ein fortdauernder Luftzug von unten nach oben innerhalb des Cylinders stattfindet, wodurch ein lebhafteres Brennen der Flamme bewirkt wird.

Was bei der Lampe der Cylinder ist, das ist bei dem Ofen der Schornstein. Daher strömt, wenn in dem Stubenofen Feuer angemacht ist, die Luft des Zimmers zur Ofenthür hinein, und drängt die im Ofen befindliche verdünnte Luft durch die Züge desselben in den Schornstein. Da die unreine Luft des Zimmers auf diese Weise beständig durch den Ofen entweicht, so ist ein gut ziehender Ofen der beste Luftreiniger. Ist der Schornstein sehr weit, so kann die in ihm befindliche große Luftmasse nur ungenügend erwärmt werden, und das Uebergewicht der ein-

Digitized by Google

strömenden äußeren Luft ist nur gering; daher sind jetzt die allgemein üblichen engen Schornsteine, die sogenannten russischen Röhren, weit vortheilhafter für die Herstellung eines kräftigen Luftzuges und einer vollständigen Verbrennung der Heizmaterialien. Die Schornsteine der Fabriken macht man darum sehr hoch, damit das Uebergewicht der von unten einströmenden äußeren Luft desto bedeutender werde; bei allzugroßer Höhe würde sich jedoch der Nachtheil zeigen, daß die aufsteigende Luft oben schon zu sehr abgekühlt würde.

Weil die erwärmte Luft emporsteigt, ist es in einem geheizten Zimmer in der Nähe der Decke bedeutend wärmer, als am Fußboden, und niedrige Stuben sind leichter zu heizen, als hohe.

Wenn man im Winter die Thür eines geheizten Zimmers ein Wenig öffnet, so strömt aus den bei Lampencylindern und Schornsteinen dargelegten Gründen die äußere kalte Luft unten ein, drängt die wärmere und leichtere Luft des Zimmers in die Höhe und oben zur Thür hinaus. Von dem dadurch entstehenden Kreislaufe der Luft kann man sich mittelst eines brennenden Lichtes leicht überzeugen. Hält man dasselbe in die Spalte der geöffneten Thür dem Fußboden nahe, so wird die Flamme in das Zimmer hineingeweht; hält man es oben in die Spalte, so treibt der hinausziehende Luftstrom die Flamme nach außen; in der Mitte der Thür bleibt sie fast ungestört.

Das Aufsteigen der erwärmten Luft benutzt man zu der sogenannten Luftheizung der Gebäude, indem man die in einem Ofen, der sich im Erdgeschoß befindet, erhitzte Luft durch Röhren in die verschiedenen Zimmer leitet; doch ist diese trockene, warme Luft der Gesundheit nachtheilig.

§ 136. Der Wind.

Da die Luft stets dahin, wo sich dünnere Luft befindet, so lange strömt, bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist, so ist leicht einzusehen, daß die Wärme die Hauptursache der Winde ist. Befindet sich die Luft im Gleichgewichte, also in Ruhe, so

Digitized by Google

herrscht Windstille. Wird das Gleichgewicht gestört, so erscheint der Wind.

Die Stärke des Windes hängt von seiner Geschwindigkeit ab; wir unterscheiden demnach: Luftzug, Lüftchen, gelinden Wind, kräftigen Wind, heftigen Wind, Sturm und Orkan. Bewegt sich der Luftstrom mit einer Geschwindigkeit von 100 bis 120 Fuß in der Secunde, so brauset er als fürchterlicher Orkan einher.

Während ein mäßiger Wind sehr wohlthätig wirkt, indem er die Atmosphäre von schädlichen Dünsten befreit, kann ein Orkan Schrecken und Verderben verbreiten. Zu den furchtbarsten Stürmen gehört der Tornado an der Westküste von Afrika und am Vorgebirge der guten Hoffnung, obgleich er selten länger als 20 bis 30 Minuten mit seiner ganzen Heftigkeit wüthet. Er bricht nicht los, ohne daß ihm einige Kennzeichen vorangehen. Anfänglich läßt sich am östlichen Rande des Horizonts eine dunkle Wolke sehen, die nicht größer ist, als eine Manneshand. Es zucken schwache Blitzstrahlen durch die Luft, welche schnell auf einander folgen, und zwischen denselben läßt sich mitunter in weiter Ferne der Donner hören. Die Wolken im Osten werden dicker und schwärzer, ihr Umfang wird immer größer, und es scheint, als ob sie sich auf einander thürmten. Der Donner, welcher anfangs kaum merklich war, kommt allmählig näher. Die Schläge folgen schnell auf einander und sein Brüllen ist schrecklich. Das Gewölk wird immer schwärzer, und endlich hüllt sich der ganze Himmel in mitternächtliches Dunkel, das gegen die Helligkeit, welche sich dann gewöhnlich am westlichen Horizonte zu zeigen pflegt, schauderhaft absticht. Unmittelbar zuvor, ehe der Tornado losbricht, wehet entweder ein ganz gelindes, kaum bemerkbares Lüftchen aus Westen, oder, was noch öfter zu geschehen pflegt, die Luft ist vollkommen ruhig, und es herrscht überall eine ungewöhnliche Stille. Menschen und Thiere suchen sich alsdann zu verbergen. Alles ist voller Erwartung, und im nämlichen Augenblicke stürmt der Tornado mit allen seinen Schrecknissen, mit Brausen und Heulen, verheerend aus den Wolken

Digitized by Google

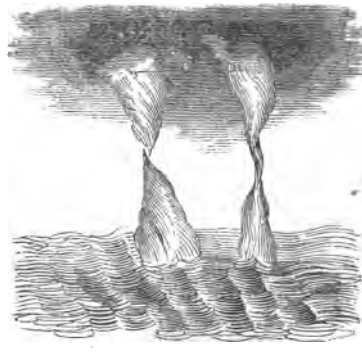
herab, stürzt die Negerhütten um, bricht die Palmbäume wie Rohr zusammen, reißt die Schiffe vom Anker, und zerstört Alles, was ihm vorkommt. Die Sprache ist zu arm, um den Kampf der Elemente, der dann stattfindet, auf eine der Größe des Gegenstandes entsprechende Art zu schildern. — Zur See kündet sich der Tornado durch dieselben Kennzeichen, wie zu Lande, an, nur mit dem Unterschiede, daß er, wie leicht zu erachten ist, auf diesem unsteten Elemente einen weit erhabneren und schreckenvolleren Auftritt darstellt. Wenige Minuten zuvor, ehe er das Schiff erreicht, wird die See mit einem weißen Schaume bedeckt, der von der schnellen Annäherung des Windes zeugt, welcher die Oberfläche des Wassers mit aller Wuth eines Wirbelwindes vor sich hin peitscht. Fast in demselben Augenblicke verliert die See ihr spiegelglattes Aussehen, und thürmt sich in den ungestümsten Wogen empor. Wenn es während oder nach einem solchen Sturme zur See nicht regnet, so nennt man denselben einen weißen Tornado, und dieser ist meistens heftiger, als wenn er von Regen begleitet ist. — Ein Tornado hat auf den Zustand der Luft überaus großen Einfluß, und es ist gar nichts Ungewöhnliches, daß das Thermometer, wenn der Sturm im Anzuge begriffen ist, um 8—10 Grade fällt. Wenn der Tornado vorüber ist, spürt der menschliche Körper neue Kraft und Thätigkeit, und der Geist erlangt wieder seine vorige Schwungkraft, die er während der anhaltend warmen Witterung größtentheils verloren hätte. (Pfaffs Physik.)

In den glühenden Sandwüsten von Afrika und Arabien weht oft der glühende Smum (Samum), der Allem, was da lebet, Tod und Verderben droht, indem er alle Feuchtigkeiten austrocknet. Ganze Karawanen sind durch ihn schon vernichtet worden. Die Kameele stecken ihre Nase in den Sand, die Menschen werfen sich auf den Boden nieder, um die sengende Luft nicht einzuathmen. Wer von dem Gluthwinde getödtet wird, scheint zu schlafen; berührt man aber einen solchen Leichnam, so zerfällt er alsbald in Staub. Noch immer heiß, aber doch auf seinem Wege über das mittelländische Meer bedeutend abgekühlt, tritt der

Digitized by Google

Gluthwind in Italien auf, wo man ihn Sirocco nennt; sein Ende findet er gewöhnlich in der Schweiz, über deren Alpengürtel er herab stürzt und als Föhn auf dem Lande und auf den Bergseen raset.

Gefahrdrohend sind auch die Wirbelwinde, welche besonders entstehen, wenn starke, entgegen gesetzte Winde einander treffen. Am furchtbarsten aber sind die Windhosen (Trombe n). Man unterscheidet, je nachdem sie sich über dem Lande oder über dem Wasser zeigen, Land- und Wasserhosen. Sie bilden einen Doppelkegel. Der obere Theil besteht aus einer in Kreisbewegung gerathenen Wolke, die sich trichterförmig herabsenkt; der untere Kegel, dessen Spitze aufwärts gerichtet ist, besteht aus Luft, in welche bei Wasserhosen das Wasser, bei Landhosen aber Sand und Staub hinaufgewirbelt wird. Eine solche Windhose zerstört, indem sie vorwärts schreitet, Alles, was sie auf ihrem Wege findet. Zu beiden Seiten derselben herrscht oft völlige Windstille.



§ 137. Regelmäßige und veränderliche Winde.

1. Der Land- und Seewind.

Auf Inseln und an den Meeresküsten, selbst an den Ufern großer Landseen, weht am Tage der Wind vom Wasser her (Seewind), in der Nacht aber strömt die Luft vom Lande nach dem Meere hin (Landwind). Das Land wird nämlich am Tage durch die Sonnenstrahlen schneller erwärmt, als das Meer; daher steigt die über demselben befindliche warme Luft empor, und die kältere und schwerere Seeluft strömt dem Lande zu. Am Abende erkaltet aber auch das Land schneller, als das Wasser, daher kehrt

Digitized by Google

sich nach einer Zeit der Windstille der Luftstrom um, und zieht vom Lande nach dem Wasser. Da sich die Wirkungen der Wärme täglich wiederholen, so ist auch der Wechsel des See- und Landwindes ein täglich regelmäßig wiederkehrender.

2. Die Passatwinde und die veränderlichen Winde.

Als Columbus seine erste Entdeckungsreise machte, auf welcher er einen beständigen Kampf mit der Unwissenheit und dem mit Furchtsamkeit gepaarten Aberglauben seines Schiffsvolkes zu bestehen hatte, war es eine Hauptursache des Schreckens für dasselbe, daß der Wind während ihrer ganzen Fahrt beständig aus Osten kam, so daß eine Rückkehr nach Spanien unmöglich schien. Gegenwärtig wissen alle Schiffer, daß dieser beständige Ostwind, den sie den Passat nennen, nur innerhalb der heißen Zone weht, und sie suchen ihn bei ihren Reisen nach Westen begierig auf, während sie ihm aus dem Wege gehen, wenn sie in östlicher Richtung steuern wollen. Genau genommen ist der Passat nicht ein völliger Ostwind, sondern er kommt in der nördlichen Hälfte der heißen Zone aus Nordost, in der südlichen aus Südost, so daß die Schiffer zwei Passate unterscheiden. An den Küsten werden die Passate durch den Land- und Seewind in ihrer Regelmäßigkeit gestört, dasselbe geschieht durch die Nähe ansehnlicher Gebirge; auf dem weiten Ocean aber tritt ihnen kein Hinderniß entgegen. In den Ebenen Südamerika's dringt der Passat bis tief in das Land hinein.

Die Ursache des Passats ist die ungleichmäßige Erwärmung der verschiedenen Theile der Erde durch die Sonne. In der Gegend des Aequators, wo die Sonnenstrahlen fast immer senkrecht herabschießen, und den Boden wie die Atmosphäre im höchsten Grade erhitzen, steigt die warme Luft beständig mit größter Lebhaftigkeit in die Höhe, und wenn nicht Gewitter und Regengüsse mächtige Stürme erregten, so würde dort stete Windstille herrschen. Daher heißt diese Gegend auch in Beziehung auf den Wind die Region der Windstillen oder Calmen. Natürlich muß die kalte, schwere Luft von beiden Polen dem Aequator

Digitized by Google

zuströmen, und wenn die Erde still stände, so müßte auf der nördlichen Halbkugel ein beständiger Nord-, auf der südlichen ein steter Südwind wehen. Nun dreht sich aber die Erde sammt der sie umgebenden Atmosphäre von Westen nach Osten um ihre Axe, und es ist klar, daß ein Punkt des Aequators ungleich schneller sich bewegt, als ein mehr nach den Polen hin gelegener Punkt, der einen weit kleineren Umdrehungskreis zu beschreiben hat. Die Pole selbst sind als stillstehende Punkte zu betrachten. Kommt nun der Wind aus den nördlichen Polargegenden in die heiße Zone, so langt er mit einer geringeren Umdrehungsgeschwindigkeit dort an, und die Erde gleitet gleichsam unter ihm nach Osten hinweg. Er erreicht also nicht denjenigen Punkt des Aequators, auf welchen er ursprünglich gerichtet war, sondern einen mehr westlich gelegenen, und erscheint als ein aus Nordost kommender Luftstrom. Ebenso wird auf der südlichen Halbkugel der Südstrom als ein Südostwind auftreten müssen. Da die Passate der heißen Zone fortwährend Luft aus kälteren Gegenden zuführen, so mildern sie die Hitze auf eine sehr wohlthätige Weise.

Während die kältere Polarluft dem Aequator zuströmt, und bei uns Bewohnern der nördlichen gemäßigten Zone als kalter Nord- oder Nordostwind ankommt, fließt die am Aequator emporgestiegene warme und mit Wasserdunst geschwängerte Luft nach beiden Polen hin ab. Dieser Luftstrom ist anfänglich *oberhalb* des Polarstromes, senkt sich aber, indem er mehr und mehr erkaltet, allmählig nieder, so daß er *neben* dem Polarstrome hergeht, und erscheint bei uns als lauer, feuchter Südwestwind, der gewöhnlich Regen bringt.

Es müssen daher in unsern Gegenden vorzüglich Nordost- mit Südwestwinden wechseln, je nachdem der Polar- oder der Aequatorialstrom über eine Gegend seinen Weg nimmt. Aus dem Zusammentreffen beider Hauptströme aber ergiebt sich der mannigfache Wechsel des Windes und des Wetters, und während die *heiße Zone die Region der regelmäßigen Winde* ist, sind die gemäßigten Zonen die *Regionen der veränder-*

Digitized by Google

lichen Winde. Was das nördliche Europa anlangt, so ist der nördliche Theil des westlichen Oceans von höchst bedeutendem Einflusse auf Wind und Wetter. Im Frühlinge wird das Festland weit früher erwärmt, als das eiserfüllte nordische Meer, daher kommen von dort rauhe Nordwestwinde und verursachen den Nachwinter; im Herbste erkaltet das Land zuerst, daher herrschen nun Südwestwinde vor und bringen den Nachsommer.

3. Die Moussons.

In der nördlichen Hälfte des indischen Oceans erfährt im Sommer der Nordost-Passat eine merkwürdige Veränderung. Indem nämlich die langen Küstenstrecken Südasiens ungemein stark erwärmt werden, muß ein Luftstrom von Süden nach Norden erzeugt werden, der sich durch die Axendrehung der Erde in einen Südwestwind verwandelt, welcher Mousson (Monsum) genannt wird. Im Winter, wenn das Land erkaltet ist, tritt der regelmäßige Nordostpassat wieder in seine Rechte ein.

§ 138. Das Sieden des Wassers.

Den Vorgang, welchen wir das Sieden oder Kochen des Wassers nennen, können wir am besten mittelst eines Kochfläschchens (Stehkolbens) beobachten. Füllt man ein solches etwa halb voll Wasser und erhitzt dasselbe auf einem Dreifuße mittelst der Weingeistlampe, so beginnen bald kleine, perlenartige Luftbläschen in die Höhe zu steigen, weil die im Wasser enthaltene Luft sich ausdehnt und entweicht. Allmählig bilden sich größere Blasen, welche ebenfalls aufsteigen, aber, so lange der obere Theil der Wassermasse noch nicht genügend erwärmt ist, platzen, ehe sie die Oberfläche erreichen, wobei ein eigenthümlicher Ton, das Singen, gehört wird. Ist endlich die ganze Flüssigkeit bis auf $+ 80^0$ R. erhitzt, so geht die Bildung der Blasen lebhaft und ununterbrochen fort; dieselben bringen das Wasser in Wallung und platzen erst, nachdem sie über den Wasserspiegel emporgestiegen sind; das Wasser siedet oder kocht. Diese Blasen bestehen nicht aus Luft, sondern aus Dampf, d. h. aus Wasser,

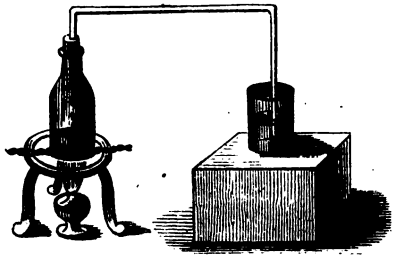
Digitized by Google

welches in Luftform übergegangen ist. Dieser Dampf erfüllt den über dem Wasserspiegel des Gefäßes befindlichen Raum, ist durchsichtig, unsichtbar und leichter als die Luft, weshalb er in derselben aufsteigt, und hat eine Wärme von + 80° R. Kühlt er sich ab, so erscheint er als ein aus feinen Wasserbläschen bestehender weißlicher Nebel; fängt man ihn mit einem kalten Gegenstande auf, z. B. mit einer Stürze, so setzt er sich in Form kleiner Wassertropfen an dieselbe an.

Dieselben Erscheinungen zeigt uns das dampfförmige Wasser, welches in unserm Athem enthalten ist. Im Sommer oder in einem geheizten Zimmer ist dieser Wasserdampf vollkommen luftförmig, demnach unsichtbar; in der Kälte erblicken wir ihn als weißen Nebel; an kalten Gegenständen, z. B. an den Fensterscheiben, setzt er sich in Tropfenform an.

Sobald das Wasser in einem offenen Gefäße bis auf + 80° R. erhitzt ist, verwandelt es sich also in Dampf; ein höherer Wärmegrad kann ihm demnach nicht mitgetheilt werden, alle noch hinzukommende Wärme verschluckt der Dampf bei seiner Entstehung, ohne daß er selbst über + 80° R. erhitzt wird. Er ist 1700 mal so leicht als das Wasser, denn ein Raum Wasser giebt 1700 eben so große Raummengen Dampf.

Wird nun der Dampf durch Abkühlung in tropfbares Wasser verwandelt, so giebt er seine verborgene (latente) Wärme wieder ab, sie wird frei. Um sich davon recht deutlich zu überzeugen, verbinde man eine zweischenkelige Glasröhre durch einen Kork



Digitized by Google

mit einem Kochfläschchen so, daß ihr kurzer Schenkel nur bis in den Hals desselben reicht; den längeren lasse man fast bis an den Boden eines offenen Trinkglases hinabreichen. Nun gieße man in jedes Gefäß 5 Loth Wasser von 0^0, und erhitze das Wasser im Kochfläschchen bis zum Sieden. Die dazu erforderliche Zeit merke man sich. Man erhitze fort, bis auch das Wasser im Trinkglase siedet; es wird eben so lange dauern. Nun entferne man die Lampe und wäge beide Gefäße. Das Kochfläschchen ist um 1 Loth leichter, das Glas um 1 Loth schwerer geworden; mithin ist ein Loth von dem Wasser im Kochfläschchen verdampft, und im Glase wieder verdichtet, und ein Loth Dampf von $+ 80^0$ hat fünf Loth Wasser von 0^0 bis auf $+ 80^0$ erhitzt. Diese Wärme von $5 . 80 = 400^0$ muß also im Dampfe enthalten gewesen sein, aber im gebundenen (latenten) Zustande; bei seinem Uebergange in den tropfbaren Zustand wurde sie frei und theilte sich dem Wasser im Trinkglase mit. (Stöckhardt Schule der Chemie.)

Der Siedepunkt ist von dem Drucke der Luft abhängig, und er ist um so niedriger, je geringer der Luftdruck ist. Daher siedet das Wasser auf hohen Bergen früher, auf dem Montblanc z. B. schon bei $+ 68^0$ R., unter der Luftpumpe bei $+ 30^0$ R. In dem 7700 Fuß hoch gelegenen Hospiz auf dem St. Bernhard kann man Rindfleisch in offenen Gefäßen nicht weich kochen, weil das Wasser schon bei 73—74^0 R. siedet. Man kann demzufolge aus dem Siedepunkte auf die Höhe eines Ortes schließen, und das Thermometer zu Höhenmessungen benutzen.

Die Abhängigkeit des Siedens von dem Luftdrucke kann man leicht zeigen, wenn man ein offenes halb mit Wasser gefülltes Kochfläschchen über der Weingeistlampe erhitzt, und, sobald das Wasser einige Zeit recht lebhaft gekocht hat, die Lampe entfernt und das Fläschchen verkorkt. Das Sieden hört sofort auf, beginnt aber aufs Neue, wenn man die Flasche umkehrt und mit kaltem Wasser begießt. — Durch das Kochen wurde nämlich die Luft von den Dämpfen aus der Flasche getrieben, und bei dem

Digitized by Google

Verkorken derselben war der Raum oberhalb des Wassers mit Wasserdampf gefüllt, dessen Druck das fernere Aufsteigen von Blasen, also das Sieden, verhinderte. Durch die Begießung der Flasche mit kaltem Wasser wurden die Dämpfe abgekühlt und als tropfbares Wasser niedergeschlagen. Auf diese Weise entstand über dem Wasser ein fast luftleerer Raum, und unter dem geringen Luftdrucke siedet dasselbe, wenn es auch nur noch lauwarm ist. — Spiritus, der unter dem gewöhnlichen Luftdrucke erst bei + 62° R. kocht, kann im luftleeren Raume schon durch die Wärme der menschlichen Hand zum Sieden gebracht werden. Die Vorrichtung, mittelst deren man dies zeigt, der sogenannte Pulshammer, besteht aus einer mit gefärbtem Spiritus gefüllten, luftleer gemachten Glasröhre, die an beiden Enden rechtwinkelig aufwärts gebogen und an jedem mit einer Kugel versehen ist. Faßt man eine dieser Kugeln mit der Hand, so beginnt die Flüssigkeit alsbald lebhaft zu sieden.

Aus dem bisher Besprochenen läßt sich leicht schließen, daß eine Flüssigkeit unter vergrößertem Luft- oder Dampfdrucke gar nicht ins Sieden gerathen wird, selbst wenn man sie über + 80° R. hinaus erhitzt. Dies geschieht z. B. in dem Papinischen Topfe, einem starken Metallgefäße mit luftdicht schließendem und fest aufgeschraubtem Deckel. In einem solchen Topfe kann man Knochen, Holz, Horn, ja Blei weich kochen. Damit er nicht von der bei fortgesetzter Erhitzung immer mehr gesteigerten Spannkraft der Dämpfe gesprengt werde, hat er im Deckel ein Sicherheitsventil, welches sich öffnet und einen Theil des Dampfes entweichen läßt, sobald der Druck desselben eine gewisse Höhe erreicht.

Wir prägen uns demnach ein:

Je geringer der Druck der Luft oder der Dämpfe ist, welchen eine Flüssigkeit erleidet, desto weniger Wärme reicht hin, sie zum Sieden zu bringen.

Digitized by Google

Daraus folgt:

1) daß man unter geringem Luftdrucke manche Speisen in einem offenen Gefäße nicht weich kochen kann — z. B. Fleisch auf hohen Bergen (s. oben);
2) daß man den Luftdruck vermindern muß, wenn eine Flüssigkeit sieden soll, ohne zu sehr erhitzt zu werden. Letzteres geschieht z. B. in den Zuckerfabriken. Würde man den Zuckersaft in offenen Gefäßen, also unter dem gewöhnlichen Luftdrucke längere Zeit sieden lassen, so würde sich sogenannter Schleimzucker (Syrup) bilden, der nicht krystallisationsfähig ist, also keinen festen Zucker giebt. Man kocht deshalb den Zuckersaft in verschlossenen Gefäßen, aus denen man die Luft ausgepumpt hat, in sogenannten Vacuumpfannen (vacuum = leer), wobei die Temperatur eine weit niedrigere bleiben kann.

§ 139. Wasser verdampft auf stark erhitzten Metallplatten nicht.

Läßt man Wassertropfen auf eine heftig glühende Kochplatte des Ofens fallen, so verdampfen sie nicht, sondern gerathen in kreisende und hüpfende Bewegung, indem sie ihre Tropfenform behalten; bei geringerer Erhitzung des Metalls dagegen verwandeln sie sich augenblicklich in Dampf.

Zwischen einer Flüssigkeit und stark erhitztem Metall findet keine Adhäsion statt.

Man nennt dieses den Leidenfrost'schen Versuch.

So furchtbar folgender Versuch scheint, so kann er doch ohne Gefahr angestellt werden: man kann die bloße angefeuchtete Hand in einen Kessel geschmolzenen Eisens tauchen, so lange die Masse sich in voller Gluth befindet, und der Temperatur, bei welcher sie fest wird, nicht zu nahe ist; die Feuchtigkeit nimmt augenblicklich Tropfenform an und verhindert die unmittelbare Berührung zwischen dem Metall und der Hand. Die Feuerprobe, welche man im Mittelalter oft als Beweis der Schuld oder Unschuld eines Angeklagten anstellte, und wobei derselbe ge-

Digitized by Google

wöhnlich mit bloßen Füßen über neun glühende Pflugschaare hinweggehen mußte, kann daher gar wohl in vielen Fällen ohne Nachtheil überstanden worden sein, nämlich dann, wenn das Eisen noch weißglühend war.

§ 140. Die Verdunstung.

Wenn man eine flache Schale mit Wasser im Sommer der Sonnenhitze, im Winter der Ofenwärme aussetzt, so nimmt die Wassermenge rasch ab. Die nach einem Regenguße entstandenen Pfützen verschwinden bei trockner Witterung bald wieder, und die benetzten Steine sind in kurzer Zeit trocken. Wenn es wochenlang nicht regnet, so vermindert sich die Wassermenge in Seen und Teichen augenfällig; flache Teiche werden völlig wasserleer. Wäscht man sich die Hände ohne sie abzutrocknen, so ist die Feuchtigkeit schnell verschwunden. Nasse Wäsche trocknet auf dem luftigen Boden des Hauses oder im Freien mehr oder weniger rasch.

Aus diesen Erfahrungen ergiebt sich:

Flüssige Körper werden auch bei gewöhnlicher Temperatur luftförmig.

Dieser Vorgang heißt Verdunstung. Sie geht bei manchen Flüssigkeiten ungemein rasch vor sich. Wer Naturalien, z. B. Schlangen, in Weingeist aufbewahrt, wird bald das Verdunsten desselben wahrnehmen, besonders wenn die Gläser nur mit Thierblase zugebunden sind, und der Spiritus in der Lampe verfliegt rasch, wenn dieselbe nicht zugestopft wird. Noch schneller verdunstet der Aether; die Hand, welche man mit demselben begießt, ist in wenigen Augenblicken trocken. Das Gleiche findet bei den ätherischen oder flüssigen Oelen statt.

Läßt man nasse Wäsche in einem Fasse aufgeschichtet liegen, so trocknet sie langsam; hängt man sie ausgebreitet auf, so ist sie bald getrocknet. Dieselbe Wassermenge nimmt in einer flachen Schale weit schneller ab, als in einem engen, tiefen Gefäße. Das Meerwasser verdunstet in kurzer Zeit, wenn man es in flache Becken leitet; auf diese Weise gewinnt man das Seesalz

Digitized by Google

ohne Brennmaterial. Schwache Salzsoole wird in den Salzwerken über aufgeschichtete Dornenbündel geleitet; dabei verdunstet ein großer Theil des Wassers, und es läuft eine stärkere Soole ab.

Die Verdunstung findet nur an der Oberfläche statt, daher wird sie durch Vergrößerung der Oberfläche der Flüssigkeit befördert.

Bei windigem Wetter und auf Trockenböden, wo ein heftiger Luftzug stattfindet, trocknet die Wäsche ungleich schneller, als wenn die Luft ganz unbewegt ist. Wenn nämlich die Luft eine gewisse Menge Wasserdunst aufgenommen hat, so ist sie, wie man zu sagen pflegt, gesättiget, und die Verdunstung hört auf. Bei Luftzug und Wind aber wird die mit Wasserdunst angefüllte Luft hinweggetrieben, und es tritt trocknere an ihre Stelle, so daß die Verdunstung keine Unterbrechung leiden darf.

Die Verdunstung wird durch Luftzug und Wind befördert.

Am warmen Ofen und im warmen Sonnenschein trocknet die Wäsche weit schneller als in kühlen Räumen.

Die Verdunstung wird durch Wärme befördert.

Sogar feste Körper verdunsten, d. h. sie werden luftförmig. Dies zeigt besonders der Kampher; auch Eis und Schnee vermindern sich bei langem Liegen in Folge der Verdunstung, und gefrorne Wäsche trocknet allmählig aus.

§ 141. Die Abkühlung durch Verdunstung.

Wenn eine Flüssigkeit verdunsten soll, so muß sie Wärme einschlucken; indem sie diese ihrer Umgebung entzieht, wird letztere nothwendig abgekühlt.

Daher kühlt man im heißen Sommer Zimmer ab, indem man den Fußboden mit Wasser besprengt. In einem Garten ist es an heißen Tagen angenehm kühl, wenn die Beete und Gänge begossen worden sind. Wer aus dem Bade steigt, empfindet einen Schauer. In nassen Kleidern erkältet man sich leicht, ebenso nach heftigem Schweiße. Die Verdunstung des Schweißes kühlt die Blutwärme so ab, daß sie selbst in der heißen Zone

Digitized by Google

29° nicht übersteigt. Manche Menschen können eine Zeitlang in einem geheizten Backofen aushalten, weil sie gewaltig schwitzen und durch die ungemein rasche Verdunstung des Schweißes abgekühlt werden. Getränke kann man bei der größten Hitze in den Flaschen kühl erhalten, wenn man letztere in nasse Tücher einschlägt, die man immer wieder anfeuchtet. In unglasirten, porösen Thongefäßen bleibt das Trinkwasser im heißesten Sommer frisch, weil es in feinen Tröpfchen durch die Wände sickert und an der Außenseite schnell verdunstet. In Ungarn kühlt man Wein ab, indem man die gefüllten Flaschen in feuchte, lockere Erde eingräbt, und ein Feuer darüber anmacht. Alle diese Beispiele zeigen:

Durch Verdunstung wird Kälte erzeugt.

Die durch die Verdunstung bewirkte Abkühlung kann so bedeutend werden, daß das Wasser gefriert. In Ostindien erhält man Eis, indem man Wasser in flachen porösen Thonschalen in windigen Nächten ins Freie stellt. Man kann Wasser am heißen Ofen zum Gefrieren bringen, wenn man ein Schälchen mit Wasser in ein Gefäß mit Schnee setzt.

Da Aether noch ungleich schneller verdunstet als Wasser, so kann man bei heftigem Kopfschmerze die Hitze mäßigen, wenn man den Kopf mit etwas Aether begießt. Gießt man Wasser in eine kleine Glasröhre, an der sich unten eine Kugel befindet, so gefriert das Wasser, wenn man die Kugel mit Watte umbindet, diese mit Aether befeuchtet, und die Röhre mit beiden Händen gleich einem Quirl dreht. Noch besser gelingt der Versuch, wenn man einen Drath in die Röhre stellt; er bedeckt sich bald mit Eisnadeln.

Obgleich Zinn so leicht schmilzt, daß zinnerne Löffel, Teller, Leuchter u. dgl. auf einer heißen Ofenplatte zerlaufen, so kann man doch ein mit Wasser gefülltes offenes Gefäß von Zinn dem stärksten Feuer aussetzen, — ja man kann Wasser in einem papiernen Gefäße über einer Lichtflamme zum Sieden bringen. Durch die Verdampfung des Wassers wird nämlich den Gefäßen die Wärme so rasch entzogen, daß sie nicht bis zum Schmelzen oder Anbrennen erhitzt werden.

Digitized by Google

Die wässerigen Lufterscheinungen oder Wassermeteore.

§ 142. a) Der Wasserdunst in der Atmosphäre.

Die Hausfrauen machen oft die unangenehme Erfahrung, daß die aufgehängte nasse Wäsche nicht trocken werden will; sie sagen in diesem Falle, die Luft sei zu feucht. Damit ist aber kein Urtheil über den Wassergehalt der Luft überhaupt (über ihren absoluten Wassergehalt) abgegeben, sondern die Luft kann bei reichem Gehalt an wässerigen Dünsten sehr trocken, bei geringem Wassergehalt aber sehr feucht sein. Die Wassermenge, welche die Luft als Wasserdunst in sich aufnehmen kann, hängt nämlich wesentlich von der Luftwärme ab. Hundert Raumtheile (z. B. Kubikfuß) Luft können bei 0° Wärme nur $^2/_3$ solche Raumtheile (Kubikfuß) Wasserdunst aufnehmen; bei + 10° C. dagegen $1^1/_4$, bei + 20° C. $2^1/_8$ Raumtheile. Ist diese Quantität noch nicht erreicht, so ist die Luft trocken und sie nimmt begierig noch mehr Wasserdunst auf, weshalb nasse Gegenstände schnell trocknen; enthält sie soviel Wasserdunst, als sie in sich aufzunehmen vermag, so ist sie gesättigt oder feucht und das Trocknen nasser Gegenstände geht nicht von Statten. Kommen aber dennoch mehr Wasserdünste hinzu, oder wird die Luft abgekühlt, so giebt sie den Ueberschuß als Thau, Nebel, Wolken in sichtbaren Dunstbläschen oder Tropfen ab.

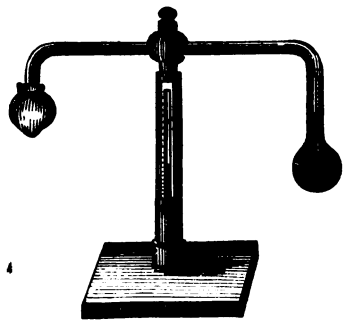
Ob die Luft mit Wasserdunst gesättiget oder ob sie von dem Sättigungspunkte mehr oder weniger weit entfernt ist, zeigt das Psychrometer oder der Naßkältemesser von August an. Es besteht aus zwei an einem und demselben Gestelle befestigten Thermometern. Die Kugel des einen ist frei, es giebt als gewöhnliches Thermometer die Luftwärme an. Die Kugel des andern ist mit einem Läppchen von feiner Leinwand umgeben. Wenn man diese anfeuchtet, so wird, falls die Luft mit Wasserdunst gesättigt ist, keine Verdunstung stattfinden, und beide Thermometer stehen gleich hoch. Vermag aber die Luft noch Wasserdunst aufzunehmen, so verdunstet das Wasser in dem Leinwandläppchen, und indem es die zu seiner Verdunstung erforder-

Digitized by Google

liche Wärme dem Queckſilber entzieht, muß dieſes ſinken. Die Verdunſtung des Waſſers und die Abkühlung des Waſſers, mithin das Sinken des Thermometers geht um ſo raſcher vor ſich, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt iſt; je größer alſo der Unterſchied des Queckſilberſtandes in den beiden Thermometern iſt, deſto trockner iſt die Luft, und deſto ſicherer darf man beſtändiges Wetter erwarten.

Da die Luft um ſo weniger Waſſerdunſt in ſich halten kann, je geringer ihre Wärme iſt, ſo muß ſie denſelben in Form kleiner Waſſerbläschen von ſich geben, wenn man ſie bis zu einem gewiſſen Grade abkühlt. Daher beſchlägt ein mit eiskaltem Waſſer gefülltes Glas an ſeiner Außenſeite, wenn man es in das warme Zimmer bringt. Die das Glas umgebende Luftſchicht wird nämlich ſo weit abgekühlt, daß ſie den in ihr enthaltenen Waſſerdunſt nicht mehr behalten kann, ſondern ihn in Form feiner Tröpfchen an das kalte Glas abſetzt. Aus demſelben Grunde fangen die Fenſter an zu ſchwitzen, wenn ſie plötzlich kälter werden.

Derjenige Wärmegrad, bei welchem die Verdichtung des Waſſerdunſtes in tropfbares Waſſer beginnt, heißt der Thaupunkt. Liegt derſelbe bedeutend tiefer, als die Temperatur der Luft, ſo iſt dieſelbe noch weit von ihrer Sättigung entfernt, und es iſt heiteres Wetter zu erwarten. Man beſtimmt den Thaupunkt mittelſt des Hygrometers oder Luftfeuchtigkeitsmeſſers von Daniell. Daſſelbe beſteht aus einer von einem Geſtell getragenen wagrechten Glasröhre, deren herabgebogene Schenkel in Kugeln endigen, von denen die eine zur Hälfte mit Aether gefüllt und außen mit einem Goldringe verſehen iſt, während ſich im Innern die Kugel eines Thermometers befindet. Die andere Kugel iſt mit einem Läppchen



Digitized by Google

von feiner Leinwand umwickelt. Vor dem Verschließen des Apparates ist derselbe durch das Erhitzen des Aethers luftleer gemacht, so daß er außer dem flüssigen Aether nur Aetherdämpfe enthält. Benetzt man nun die mit Leinwand umwickelte Kugel zu wiederholten Malen mit Aether, so verdunstet dieser um so rascher, je weniger die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt ist. Durch die Verdunstungskälte werden die Aetherdämpfe im Inneren des Apparates verdichtet und tropfbarflüssig; es entsteht ein leerer Raum und sofort tritt eine neue Verdunstung des in der ersten Kugel enthaltenen Aethers ein, in Folge deren das Thermometer sinkt. Die erkaltende Kugel erkältet auch die sie umgebende Luftschicht, diese vermag ihren Wasserdunst nicht mehr zu halten, und setzt ihn als feine Wasserbläschen an dem Goldringe ab. Der in diesem Augenblicke von dem eingeschlossenen Thermometer angegebene Wärmegrad ist der Thaupunkt; er zeigt an, bei welchem Wärmegrade die Verdichtung des in der Luft enthaltenen Wasserdunstes beginnen würde. Je tiefer dieser Wärmegrad gegen die Temperatur der Luft steht, desto weiter ist dieselbe von dem Zustande der Sättigung entfernt.

Auch mittelst eines einfachen Thermometers läßt sich der Thaupunkt finden, indem man zunächst seinen Stand anmerkt, dann aber die Kugel mit feiner Leinwand umwickelt, die man anfeuchtet, worauf man abermals die Temperatur ablieset. Je größer der Unterschied der beiden Temperaturen ist, desto trockner ist die Luft.

Es giebt viele Körper, welche die Feuchtigkeit der Luft begierig einsaugen, dadurch feucht werden und zerfließen oder andere Veränderungen erleiden. Man nennt sie hygroscopische (Feuchtigkeit anzeigende) Körper, und sie werden häufig als Hygrometer angewendet.

Zu den in feuchter Luft zerfließenden Körpern gehören mehrere salzartige Stoffe, z. B. die Potasche und das Chlorcalcium. Letzteres schüttet man in Spiritus, damit es das in demselben enthaltene Wasser anschlucke, wodurch er stärker wird. Schüttet man zwischen die Doppelfenster eines Zimmers Kochsalz, so wird

Digitized by Google

die eingeschlossene Luft trocken, indem das Salz die Wasserdünste aufnimmt. Feine blanke Stahlwaaren bewahrt man vor dem durch die Feuchtigkeit erzeugten Rost, indem man sie mit Kohlenpulver umgiebt.

Ein Menschenhaar, dem man durch Auskochen oder durch Einweichen in Aether die Fettigkeit genommen hat, verlängert sich bei feuchter Luft und verkürzt sich wieder, wenn dieselbe trocken wird; dasselbe geschieht bei dem Fischbein. Hierauf ist das Haar-Hygrometer von Sauſſure und de Luc's Fischbein-Hygrometer gegründet.

Darmsaiten drehen sich in feuchter Luft auf und werden länger; wird die Luft trocken, so drehen sie sich wieder zusammen und verkürzen sich; sie können daher ebenfalls als Hygrometer gebraucht werden. Gewöhnlich ist zu diesem Zwecke eine Kreisscheibe mit ihnen verbunden, auf welcher ein Paar Figuren stehen, die auf irgend eine Weise den Gegensatz von trocknem und nassem Wetter symbolisch andeuten, z. B. eine Frau mit einem Sonnen- und ein Mann mit einem Regenschirme. Die Scheibe ist um eine senkrechte Axe beweglich und so eingerichtet, daß bei der Verlängerung der Saite, also bei feuchter Luft, der Mann, bei der Verkürzung derselben, mithin bei trockner Luft, die Frau aus der Hausthür tritt. Dergleichen Wetterhäuschen sind jedoch mehr für Spielereien als für physikalische Instrumente anzusehen, denn sie geben sehr unsichere Resultate, da das Auf- und Zudrehen der Seite nicht regelmäßig erfolgt.

Nicht selten sieht man den mit einer gewundenen Granne versehenen Samen des auf den Brachen wachsenden gemeinen Reiherschnabels (Erodium cicutarium) oder noch besser die einer in Gärten gezogenen Art (Erodium gruinum) als hygroscopischen Körper angewendet, indem das Samenkorn in den durchbohrten Mittelpunkt einer Scheibe von Pappe gesteckt ist. Bei feuchter Luft dreht sich die Granne auf, bei trockner Luft ziehn sich ihre Windungen zusammen, so daß die Grannenspitze gleich dem Zeiger einer Uhr sich bewegt, und die auf der Scheibe verzeichneten Feuchtigkeitsgrade angiebt.

Digitized by Google

§ 143. b) Thau und Reif.

Wenn wir an einem heiteren, windstillen Sommerabende nach Sonnenuntergang über eine Wiese gehen, so bekommen wir nasse Füße; das Gras ist mit Thau bedeckt. Bei bewölktem Himmel und in windigen Nächten thaut es nicht. Unter einer auf einen Grasplatz des Gartens gestellten Bank, unter einem Gartentische, unter einem dicht belaubten Baume, unter einem Zelte u. s. w. thaut es nicht.

Die Ursachen dieser Erscheinung sind nach dem im vorigen Abschnitte Besprochenen leicht einzusehen. Der Thau entsteht dadurch, daß die Erde am Abende rasch erkaltet und dadurch die ihr zunächst befindlichen Luftschichten abkühlt. Diese vermögen nun den in ihnen befindlichen Wasserdunst nicht länger zu behalten, und derselbe setzt sich in kleinen Tropfen an die kalten Gegenstände. Da, wie man sich mit dem Thermometer überzeugen kann, Gras und Blätter weit schneller erkalten, als Sand und Steine, so sind sie auch am ersten und am stärksten bethaut. Sobald am Morgen die Sonne warm scheint, vermag die Luft wieder mehr Wasserdunst aufzunehmen, und der Thau verdunstet rasch. An den Schattenseiten bleibt natürlich der Thau länger.

Daß es unter einem Tische oder Zelte nicht thaut, rührt daher, daß durch eine Decke die Ausstrahlung der Wärme (siehe unten § 156), mithin die Abkühlung verhindert wird. Dieselbe Wirkung hat im Großen die Wolkendecke des Himmels, daher kann es bei bewölktem Himmel nicht thauen.

Bei windigem Wetter wird immer wieder warme Luft an den festen Körpern vorübergeführt, daher erkalten dieselben nicht bis zum Thaupunkte und es findet kein Niederschlag statt.

Reif ist gefrorner Thau. Wenn die Körper bis unter den Eispunkt erkaltet sind, so müssen die Wasserdünste an denselben gefrieren. Der Reif erscheint daher im Frühling, Herbst und Winter.

Digitized by Google

§ 144. c) Nebel und Wolken.

Der Nebel entsteht ganz auf dieselbe Weise, wie unser Athem in kalter Luft sichtbar wird und wie die aus kochendem Wasser aufsteigenden Dämpfe sich zu sichtbaren Wolken verdichten, sobald sie in kältere Luft kommen. Es entstehen nämlich sehr kleine Dunstbläschen, welche außen gleich den Seifenblasen mit einem sehr dünnen Wasserhäutchen umgeben, innen aber mit Luft gefüllt sind. Sie werden theils durch ihre außerordentliche Kleinheit in der Luft schwebend erhalten, theils durch Luftströmungen emporgetrieben. Wenn an Frühlings- und Herbstabenden die Erde schnell erkaltet, wie dies besonders bei feuchten Wiesenflächen der Fall ist, so werden die niederen, mit Wasserdunst gesättigten Luftschichten gleichfalls abgekühlt; sie vermögen dann denselben nicht länger aufgelöset zu erhalten, und er wird in Form kleiner, hohler Wasserbläschen sichtbar: die Wiesen dampfen. Wird aber am Morgen durch die Sonnenstrahlen die Luft erwärmt, so ist sie im Stande, mehr Wasserdunst in sich aufzunehmen, und der Nebel verschwindet.

Das sogenannte Rauchen der Flüsse, Seen und Teiche kann zweierlei Ursachen haben. Entweder — wie dies in der Regel nach Sonnenuntergang der Fall ist — steigen aus dem wärmeren Wasser noch viele Dämpfe auf, welche die kältere und feuchte Luft nicht mehr aufzunehmen vermag, die daher als Wasserblasen sichtbar werden müssen. Oder — was besonders im Sommer nach Gewittern stattfindet — die Luft ist wärmer als die Oberfläche des Wassers, aber sie ist mit Feuchtigkeit gesättiget. Kommt sie nun in die Nähe des kühlen Wassers, so wird sie selbst abgekühlt, und ein Theil ihrer Feuchtigkeit scheidet sich als Nebel aus. Im ersteren Falle kommt also der Nebel aus dem Wasser, im letzteren aus der Luft.

Bildet sich der Nebel in hohen Luftschichten oder steigt er von der Erde empor, so entstehen Wolken. Zwischen diesen und jenem ist also durchaus kein wesentlicher Unterschied. Wer hohe Berge besteigt oder im Luftballon sich erhebt, hat, wenn er

Digitized by Google

in die Wolkenregion kommt, dieselben Erscheinungen, welche der Nebel an der Oberfläche der Erde darbietet. Wie der Nebel, so bestehen auch die Wolken aus Dunstbläschen.

So leicht auch diese Bläschen sein mögen, so müssen sie doch offenbar schwerer sein, als die Luft; man sollte daher meinen, sie müßten alsbald herabsinken, und doch sehen wir die Wolken oft stunden- ja tagelang in der Höhe schweben. Diese Erscheinung kann verschiedene Ursachen haben. Theils ist es die Strömung der Luft, der Wind, der das Herabsinken verhindert; theils ist die unveränderte Dauer der Wolken nur scheinbar. Die Wasserbläschen senken sich nämlich in der That herab, allein sie kommen bald in wärmere, nicht mit Feuchtigkeit gesättigte Luftschichten, in denen sie gasförmig und somit unsichtbar werden. In der höheren Luftschicht aber bilden sich immer wieder neue Bläschen, und die Wolke scheint unbeweglich zu stehen, obschon sie in einer steten Veränderung begriffen ist. Aus diesem fortwährenden Wechsel in dem Zustande der Luftfeuchtigkeit, demzufolge dieselbe bald sichtbar bald unsichtbar ist, erklärt es sich auch, wie mitten am heiteren Himmel Wolken entstehen und wieder verschwinden können; der ganze Vorgang beruht auf den wechselnden Wärmegraden der Atmosphäre.

Wir unterscheiden drei Hauptformen der Wolken, zwischen denen es mannigfaltige Uebergänge giebt.

1) Die Federwolke, lichten Flöckchen gleichend, ist die höchste von allen, und macht in der Regel den Anfang der Wolkenbildung. Fangen die Federwolken an sich zu verdichten, oder lösen sich dichtere Wolken allmählig auf, so entsteht das Lämmergewölk.

2) Die Haufenwolke, die wir besonders im Sommer oft am Horizonte entstehen und wieder vergehen sehen, gleicht gewöhnlich gebirgsartig über einander gethürmten, halbkugeligen, weißlichen Wolkenmassen. Sinken die Haufenwolken in wärmere Luftschichten herab, so verschwinden sie, und der Himmel wird wieder klar; verdichten sie sich, so entsteht:

Digitized by Google

3) Die Wand- oder Schichtwolke, die wir oft von der Sonne mit prächtigen Farbensäumen geschmückt den ganzen westlichen Himmel einnehmen sehen, und die gewöhnlich Regen bringt.

§ 145. d) Der Regen.

Wenn sich der nebelförmige Wasserdunst mehr und mehr verdichtet, so fließen endlich die Nebelbläschen zu Tropfen zusammen, welche sich im Herabfallen vergrößern, indem sie die unteren Luftschichten abkühlen, und deren Wasserdünste verdichten. So entsteht der Regen, welcher nach der Größe seiner Tropfen: Staubregen, gemeiner Regen oder Platzregen heißt. Stürzt das Wasser in ganzen Massen herab, so nennt man dies einen Wolkenbruch. Ein Regen, der nur aus einer kleinen, bald vorüberziehenden Wolke kommt, heißt ein Schäuer oder ein Strichregen (bei dem schlesischen Landmann eine „Plaue“); ist der ganze Himmel gleichsam mit einer einzigen großen Regenwolke wie mit einer Decke überzogen, so daß der Regen eine bedeutende Ausdehnung und lange Dauer hat, so ist es ein Landregen. Während in unseren Gegenden der Durchmesser eines starken Regentropfens etwa $^1/_4$ Zoll beträgt, erreicht er in den Aequatorial-Gegenden häufig die Ausdehnung eines Zolles.

Die heiße Zone hat bekanntlich nur zwei Jahreszeiten, die trockene und die Regenzeit. Letztere tritt ein, wenn die Sonne am höchsten steht, wird also nur uneigentlich als der Winter bezeichnet. Der große Naturforscher und Reisende Alexander von Humboldt schildert sie für den nördlichen Theil von Südamerika. Im März wird die Luft feucht; Ende März beginnen die Gewitter; Ende April wird der Himmel grau, und es regnet täglich von 9 Uhr Morgens bis 4 Uhr Nachmittags. In der Nacht ist der Himmel meist heiter. Am heftigsten ist der Regen, wenn die Sonne im Zenith steht. Allmählig regnet es täglich kürzere Zeit, und zuletzt nur Nachmittags. In den Monaten December, Januar und Februar ist die Luft völlig trocken und der Himmel blau. In der Nähe des

Digitized by Google

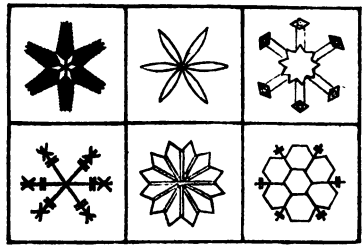
Aequators (in der Region der Calmen § 137) finden fast das ganze Jahr hindurch in den Nachmittagsstunden starke, von heftigen Gewittern begleitete Regengüsse statt.

Unwissenheit und Aberglaube fabeln viel von wunderbaren Arten von Regen. Bald soll es irgendwo *Schwefel* geregnet haben — die auf den Regenpfützen schwimmende gelbe Masse ist aber nur der Blüthenstaub der Nadelhölzer; bald hat es *Getreide* geregnet — das vermeintliche Getreide besteht aber aus den vom Regen ausgewaschenen Wurzelknöllchen des gemeinen Scharbockskrautes (Ficaria ranunculoïdes) oder aus den Samen des epheublättrigen Ehrenpreises (Veronica hederaefolia); ja sogar *Blut* und *Frösche* regnet es der Sage nach zuweilen — das Blut besteht aber nur aus farbigen Tropfen, welche die aus den Puppen auskriechenden Schmetterlinge von sich geben, und die Frösche kommen nicht mit dem Regen vom Himmel, sondern nach dem Regen aus der Erde. Ein sogenannter *Steinregen* hat allerdings schon öfter stattgefunden, indem größere oder kleinere *Feuerkugeln* zuweilen in der Luft zerspringen, und in einzelnen, gewöhnlich heißen Stücken herabfallen, die man *Meteorsteine* nennt, und von denen die meisten fast ganz aus gediegenem Eisen bestehen. Die Ursache ihres Zerspringens ist noch nicht erforscht. Man hält jetzt allgemein die Feuerkugeln, so wie die nur durch ihre geringere Größe von ihnen unterschiedenen *Sternschnuppen* für kleine Himmelskörper, welche gleich den Planeten in elliptischen Bahnen um die Sonne kreisen, und uns, wenn sie der Erde nahe kommen, als hell leuchtende, rasch bewegte Körper erscheinen. Während man in einer heiteren Nacht, wenn kein Mondschein ist, stündlich etwa 6—8 Sternschnuppen wahrnimmt, zeigen sie sich in manchen Nächten, besonders vom 8—12. August und vom 12—14. November zu vielen Tausenden. Ihre Geschwindigkeit schätzt man auf 4—9 Meilen in der Secunde, ihre Höhe zur Zeit ihres Sichtbarseins auf 4—35 Meilen.

Digitized by Google

§ 146. e) Der Schnee.

Wahrscheinlich besteht eine Schneewolke nicht aus Dunstbläschen, sondern aus sehr feinen Eiskrystallchen, welche durch fortwährendes Ansetzen gefrierender Wasserdünste sich vergrößern, wegen ihrer Schwere herabsinken, und im Fallen noch wachsen. Fängt man bei ruhigem, kaltem Wetter einzelne Schneeflöckchen mittelst einer kalten Schiefertafel auf, so findet man, daß dieselben die zierlichsten Krystallformen bilden, deren Grundlage stets ein sechseckiger Stern ist, indem die Hauptstrahlen sich unter Winkeln von 60^0 verbinden. Bei unruhiger Atmosphäre werden diese Sterne zerbrochen, hängen sich massenhaft an einander und bilden dann unregelmäßige Flocken.



Ehe es schneit, wird die Atmosphäre erwärmt, denn bei dem Uebergange der Wasserdünste in die starre Form wird Wärme frei, die sich der Luft mittheilt. Der Landmann verwechselt — wie dies sehr häufig geschieht — Ursache und Wirkung, und pflegt bei großer Kälte zu sagen: es kann nicht schneien, denn es ist zu kalt.

Sind die untersten Luftschichten bedeutend wärmer, als die oberen, so schmelzen die Schneeflocken, ehe sie herabkommen, so daß es in der Höhe schneit, während es unten regnet.

Auf hohen Bergen bleibt der Schnee beständig liegen, und wird ewiger Schnee genannt. Die Linie, oberhalb deren der Schnee nicht mehr schmilzt, heißt die Schneelinie oder Schneegrenze. Sie liegt in der heißen Zone am höchsten, etwa 14000 Fuß; in unsern Gegenden beträgt ihre Höhe ungefähr 6000 Fuß; an den Polen berührt sie die Oberfläche der Erde.

Digitized by Google

§ 147. f) Graupen und Hagel.

Die Graupen, welche besonders im März und April häufig als rundliche, undurchsichtige Körner herabfallen, bestehen, wie der Schnee, aus feinen Eiskrystallen, die aber nicht in regelmäßigen Formen sich verbinden, sondern dicht beisammen liegen.

Der Hagel ist gefrorener Regen. Er besteht aus rundlichen, oft birnförmigen Eismassen, die gewöhnlich nur Erbsengröße haben, nicht selten aber Hasel- ja Wallnüssen an Größe gleichkommen. Zuweilen fallen sogar Eismassen von der Schwere mehrerer Lothe, selbst von dem Gewichte eines halben Pfundes nieder, und richten dann große Verwüstungen an. In der Mitte eines Hagelkornes befindet sich insgemein ein undurchsichtiger Kern; derselbe ist von einer durchsichtigen Eismasse umgeben, welche oft mehrere Schichten bildet. Der Hagel ist stets mit Gewittern verbunden, und geht in der Regel dem Gewitterregen voran. Er erscheint häufiger bei Tage als bei Nacht, und ist sowohl in der heißen als in der kalten Zone selten. Die Hagelwolken haben eine weißliche, zuweilen auch eine röthliche oder grünliche Färbung, zerrissene Ränder, und gehen sehr niedrig. Schon ehe der Hagelfall beginnt, hört man ein rasselndes Geräusch in der Luft. Obgleich er selten länger als einige Minuten dauert, vernichtet er doch zuweilen die Ernte ganzer Gegenden, indem der Boden zollhoch mit den Eisklumpen bedeckt ist, so daß zu dem Schmelzen derselben mehrere Tage erforderlich sind. — Gewöhnlich trifft ein Hagelwetter einen langen aber schmalen Landstrich.

Zwei Hauptfragen hat die Naturwissenschaft bis jetzt noch nicht zu beantworten vermocht, einmal: woher in der Gluthhitze des Sommers eine so heftige Kälte kommt, daß die Regentropfen gefrieren; sodann: wie sich die schweren Hagelkörner so lange in der Luft schwebend erhalten können. In Beziehung auf das Letztere meinen mehrere Naturforscher, die Hagelkörner würden durch die — später zu besprechende — electrische Kraft zweier über einander stehenden Wolken eine Zeitlang angezogen und

Digitized by Google

abgestoßen, so daß sie in einer auf- und niedergehenden Bewegung blieben, bis sie in Folge ihres vergrößerten Gewichtes herabfielen.

§ 148. Der Wasserdampf im Dienste des Menschen.

Die aus dem kochenden Wasser aufsteigenden Dämpfe können in verschiedener Weise nutzbar gemacht werden. Viele Speisen werden schneller weich und sind zarter, schmackhafter und verdaulicher, wenn man sie in Dampf kocht, statt sie mit Wasser ans Feuer zu setzen. Die dazu angewendeten Gefäße haben in einer gewissen Entfernung über dem gewöhnlichen Boden noch einen zweiten siebartig durchlöcherten, und sind mit einem gut schließenden Deckel versehen. Zwischen die beiden Böden kommt Wasser, die zu kochenden Stoffe aber werden auf den Siebboden geschüttet, und dort von den aufsteigenden und am Entweichen verhinderten Dämpfen ganz durchdrungen, ohne daß ein Umrühren erforderlich ist. Macht man den Deckel doppelt, so daß er eine Luftschicht einschließt, so wird die Abkühlung der Dämpfe noch besser verhindert, und das Kochen erfordert noch weniger Zeit. Selbst in hölzernen Fässern kann das Kochen mit Dampf geschehen, indem nur der Dampf aus einem Siedegefäße mittelst einer Röhre in ihren durchlöcherten Boden geführt wird, ohne daß sie selbst dem Feuer zu nahe kommen.

Will man nur die in dem Dampfe enthaltene Wärme, nicht aber zugleich die Feuchtigkeit desselben benutzen, so darf man ihn natürlicher Weise nicht mit den — gewöhnlich behufs des Trocknens — zu erwärmenden Gegenständen unmittelbar in Berührung bringen, sondern man muß nur dem Gefäße, worin sie sich befinden, oder einer Metallplatte, auf welcher sie liegen, die Wärme des Dampfes zuführen. Auf diese Weise trocknet man z. B. in den Pulverfabriken das Schießpulver. Man schüttet dasselbe auf Metallplatten, die den Deckel eines Raumes bilden, dessen Wände von Ziegeln gemauert sind. In diesen Raum leitet man den heißen Wasserdampf, so daß die Platten von unten erwärmt werden. Indem die Dämpfe erkalten und tropfbar

Digitized by Google

werden, geben sie die in ihnen verborgen gewesene Wärme ab, das von ihnen abgesetzte Wasser wird von Zeit zu Zeit durch eine verschließbare Röhre abgelassen.

In ganz ähnlicher Weise geschieht das Decatiren des Tuches. Wenn das Tuch scharf gepreßt wird, so bekommt es einen starken Glanz, der aber nicht wasserbeständig ist; daher wird es vom Regen fleckig. Zugleich läuft es ein, d. h. es zieht sich, wenn es naß wird, zusammen. Um dies zu verhüten, mußte man es früher vor dem Gebrauche krumpen, d. h. mit Wasser tränken und trocknen lassen; dabei wurde es aber unscheinbar, indem es den Preßglanz verlor. Erhitzt man es aber auf einer durch Dampf erwärmten Metallplatte, die mit einigen Lagen nasser Leinwand bedeckt ist, so wird es von den zuerst aus dieser aufsteigenden Dämpfen durchdrungen — also gekrumpen — und nachdem es durch die fortgesetzte Erwärmung getrocknet ist, erhält es durch scharfes Pressen einen schöneren und dauerhaften Glanz.

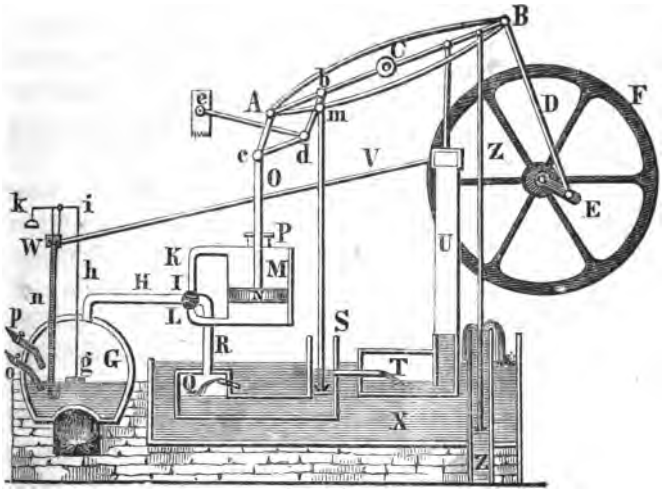
Ungleich bedeutsamer ist die Verwendung des Wasserdampfes zu Dampfmaschinen, durch welche die meisten Verhältnisse des bürgerlichen Lebens in dem letztvergangenen Jahrhundert mehr oder weniger umgestaltet worden sind. Drei Engländer, Savary, Newcomen und Jacob Watt, haben sich durch Erfindung und allmählige Vervollkommnung der Dampfmaschinen unsterbliche Verdienste erworben. Jetzt werden fast alle Fabriken durch Dampf getrieben; Dampfmaschinen heben die Grubenwasser aus den Bergwerken; auf der Eisenbahn fliegt der Dampfwagen dahin, und zieht Tausende von Centnerlasten hinter sich her; das Meer so wie alle großen Ströme und Landseen durchfurcht das Dampfschiff.

§ 149. Die Haupttheile einer stehenden Dampfmaschine.

Bei der allgemeinen Verbreitung, welche die Dampfmaschinen in unseren Tagen gefunden haben, wird es dem Leser nicht schwer werden, eine solche in Thätigkeit zu sehen.

Das Erste, was dem Beschauer in die Augen fällt, ist ein mächtiger, eiserner Wagebalken, der Balancier, AB, ein

Digitized by Google



gleicharmiger Hebel, der seinen Unterstützungspunkt in C hat, und sich in auf- und niedergehender Bewegung befindet. (Das Gestell, welches den Wagebalken trägt, ist in der Zeichnung weggelassen.) Verschiedene Pumpenstangen sind an dem Wagebalken befestiget und nehmen an seiner Bewegung Theil. Nahe am Ende des einen Hebelsarmes hängt von demselben eine Leitstange D herab, welche vermittelst einer Kurbel E ein großes Schwungrad F in Umschwung setzt. Wie die Bewegung des Rades auf andere Maschinentheile (z. B. durch Riemen ohne Ende) übertragen werden kann, wissen wir aus der Mechanik.

Wir haben nun zu erforschen, auf welche Weise das Auf- und Niedergehen des Wagebalkens bewirkt wird. Daß der Wasserdampf die Seele der Maschine ist, dies ist uns bekannt. Derselbe wird in einem starken Kessel von Schmiedeeisen G erzeugt, und steigt in der Röhre H empor. Aus dieser gelangt er in den oben und unten luftdicht geschlossenen Pumpenstiefel (Cylinder) M, und zwar, je nachdem der doppelt durchbohrte Hahn I gestellt ist, abwechselnd durch K in das obere,

Digitized by Google

und durch L in das untere Ende desselben. In dem Cylinder soll ein luftdicht an die Wände schließender Kolben N auf und nieder bewegt werden; die Kolbenstange O aber geht ebenfalls luftdicht durch die oberhalb des Stiefels angebrachte, mit gesettetem Werg gefütterte Stopfbüchse P und ist an ihrem oberen Ende bei c mit dem Wagebalken verbunden. Wird nun der Kolben im Cylinder auf und nieder bewegt, so muß auch der Wagebalken auf- und niederspielen und mittelst der an seinem anderen Endpunkte befestigten Leitstange das Schwungrad in Bewegung setzen.

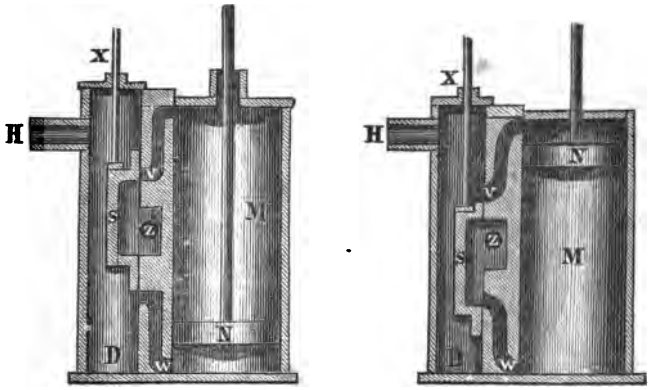
Wenn der Kolben seine tiefste Stellung hat, wird der Hahn I so gedreht, daß der Dampf aus der Hauptdampfröhre H durch den unteren Kanal L in den Cylinder eintritt, so daß er unterhalb des Kolbens N gelangt, und diesen in die Höhe treibt. So lange ist die Verbindung der Röhre H mit dem oberen Kanal K unterbrochen. Jetzt muß der Dampf, welcher unterhalb des Kolbens seine Wirkung gethan hat, fortgeschafft werden, damit dort ein luftleerer Raum entsteht. (Wie dies geschieht, wird weiter unten gesagt werden.) Hierauf wird der Hahn I so gedreht, daß die Verbindung der Röhren H und L aufhört, dagegen H und K in Verbindung treten; folglich tritt nunmehr der Dampf oberhalb des Kolbens N ein, treibt denselben abwärts und wird sodann beseitiget. In dieser Weise wird der Kolben fortwährend auf und ab bewegt.

Die Drehung des Hahnes wurde anfangs durch Menschenhände besorgt, bis ein Knabe, Humphry Potter, der bei einer Maschine mit diesem Geschäfte beauftragt war und sich dabei sehr langweilte, auf den glücklichen Gedanken kam, den Hahn mit dem Wagebalken in Verbindung zu setzen, und letzteren für sich arbeiten zu lassen. Diese Vorrichtung, die Steuerung genannt, wurde bald überall eingeführt.

Statt der Steuerung mit dem Hahne wendet man jetzt allgemein die Schiebersteuerung an, welche die Figuren I. und II. auf S. 343 veranschaulichen. Aus dem Dampfkessel gelangt der Dampf durch das Rohr H in den Dampfkasten D.

Digitized by Google

I. II.



In diesem läßt sich das den Hahn ersetzende Schieberventil s auf- und niederbewegen, wobei es abwechselnd die beiden in den Cylinder führenden Kanäle v und w öffnet und schließt. Fig. I. zeigt uns, wie der Kolben seine tiefste, das Schieberventil hingegen seine höchste Stellung hat. Der untere Kanal w ist jetzt mit dem Dampfkasten verbunden, daher strömt der Dampf unter den Kolben N und wird denselben in die Höhe treiben. Der Raum oberhalb des Kolbens ist noch mit Dampf gefüllt, aber wenn der Kolben aufsteigt, strömt der Dampf durch den oberen Kanal v in das Schieberventil und entweicht aus dem Dampfkasten durch eine Röhre, deren Mündung bei z angedeutet ist. — Während nun der Kolben aufwärts steigt, wird das Schieberventil s abwärts bewegt; daher schließt sich der untere Kanal w und der obere v tritt mit dem Dampfkasten in Verbindung (Fig. II.). Der nunmehr oberhalb des Kolbens c eintretende frische Dampf treibt diesen abwärts, der unterhalb befindliche aber entweicht durch den unteren Kanal in das Schieberventil und die Röhre z. Wie das Schieberventil mittelst seiner Zugstange x auf und ab bewegt wird, wird weiter unten gezeigt werden.

Digitized by Google

Dampf, wie er sich aus dem siedenden Wasser bildet, übt keinen stärkeren Druck aus, als die atmosphärische Luft. Wenn nun die Dämpfe, welche auf einer Seite des Kolbens ihren Dienst geleistet haben, durch die Röhre z (Fig. I. und II. auf S. 343) in die freie Luft entweichen sollten, so würden sie durch den Druck derselben am Austreten verhindert werden, auch würde der Gegendruck der Atmosphäre den Kolben an seiner Bewegung hindern. Daher müssen die Dämpfe, sobald sie die Kolben getrieben haben, zu tropfbarem Wasser verdichtet werden, damit auf dieser Seite des Kolbens ein luftleerer Raum entsteht, in welchen der auf der anderen Seite des Kolbens wirkende Dampf den Kolben treiben kann. Anfänglich geschah dies in der Weise, daß man in den Cylinder selbst kaltes Wasser einspritzte, wodurch die Dämpfe erkältet und verdichtet wurden. In Folge der beständigen Abkühlung des Cylinders ging aber viele Wärme nutzlos verloren, und die Maschinen erheischten einen sehr bedeutenden Aufwand an Brennmaterial. Da erfand James Watt (1736—1819), ein Engländer, den Condensator oder Verdichter, und nun erst erreichten die Dampfmaschinen den höchsten Grad der Vervollkommnung.

Watt machte nämlich die Entdeckung, daß es nicht nothwendig sei, die Dämpfe unmittelbar in dem Cylinder selbst zu verdichten, sondern daß dies in einem abgesonderten mit dem Cylinder in Verbindung stehenden Raume geschehen könne. Er leitete die Dämpfe, sobald sie auf einer Seite des Kolbens ihre Arbeit gethan hatten, in den Condensator, ein von kaltem Wasser umgebenes Gefäß, in welches beständig ein Strahl kalten Wassers durch eine siebartige Oeffnung eintritt. (Fig. auf S. 341 Q.) Die Dämpfe werden sofort verdichtet, in den dadurch entstandenen luftleeren Raum strömt die ganze Dampfmasse, welcher eben der Weg in den Condensator offen steht, herbei, und verwandelt sich in tropfbares Wasser. Der auf der entgegen gesetzten Seite des Kolbens wirkende Dampf findet nun keinen Widerstand und vermag mit Leichtigkeit den Kolben zu bewegen. Bei der Schiebersteuerung (Fig. I. und II. auf S. 343) geht der ver-

Digitized by Google

brauchte Dampf durch z in den (nicht gezeichneten) Condensator, und zwar Fig. I. der oberhalb des Kolbens befindliche mittelst des Kanales v, Fig. II. der unterhalb des Kolbens befindliche durch den Kanal w. Bei der Hahnsteuernng (Fig. auf S. 341) führt die Röhre R den verbrauchten Dampf in den Condensator Q, und zwar den oberen auf dem Wege KIRQ, den unteren auf dem Wege LIRQ.

§ 150. Andere Theile einer stehenden (Watt'schen) Dampfmaschine.

1. Die drei Pumpen.

Das in den Condensator Q (Fig. auf S. 341) eingetretene kalte Wasser wird durch die von den verdichteten Dämpfen freigegebene Wärme bald erwärmt, es muß daher hinweggeschafft werden. Zugleich mit ihm muß die Luft aus dem Condensator entfernt werden, damit der kalte Wasserstrahl eintreten kann. Diese Arbeit verrichtet die Luftpumpe S, welche mit dem Condensator Q durch ein Seitenrohr verbunden ist, und durch den Wagebalken, von dem ihre Zugstange herabkommt, in Thätigkeit gesetzt wird.

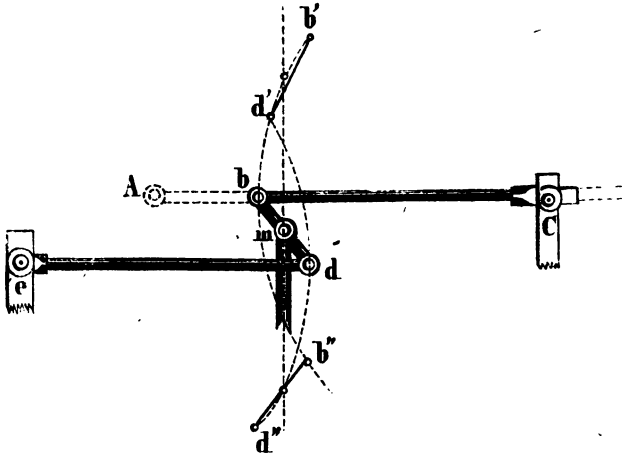
Das warme Wasser wird von der Luftpumpe in die Warmwassercisterne T ausgegossen, und aus dieser durch eine zweite Pumpe, die Warmwasser- oder Speisepumpe U durch die Röhre V in einen Behälter W gebracht, aus welchem es nach Bedürfniß in den Kessel gelangt, um das in diesem verdampfte Wasser zu ersetzen. Wie dieser Zufluß regulirt wird, werden wir weiter unten sehen. Es ist einleuchtend, daß, indem der Kessel schon warmes Wasser empfängt, eine bedeutende Ersparniß an Brennmaterial stattfindet.

Die den Condensator umgebende Kaltwassercisterne X erhält den erforderlichen Vorrath an kaltem Wasser mittelst der in einen Brunnen hinabreichenden Kaltwasserpumpe Z.

Digitized by Google

2. Das Watt'sche Parallelogramm.

Die beiden Endpunkte des Wagebalken bewegen sich nicht senkrecht auf und ab, sondern in Kreisbogen; die **Kolbenstange** aber muß, wenn sie nicht abbrechen soll, genau senkrechte Bewegung haben, weil sie durch eine eng anschließende Stopfbüchse geht. Daher ist sie nicht unmittelbar an den Wagebalken befestigt, sondern an das Watt'sche Parallelogramm **A b d c e**, Fig. auf S. 341, eine Verbindung von Stäben, durch welche der Punkt c gezwungen wird, senkrecht auf- und abzugehen. Eine eben solche Bewegung hat der Mittelpunkt m des Stabes b d, und dort greift die **Stange der Luftpumpe** an, für welche ebenfalls die senkrechte Bewegung nothwendig ist. Zur Veranschaulichung der besprochenen Einrichtung dient die nachstehende Zeichnung.



C b ist ein Theil des linken Armes A C von dem Wagebalken, der in C seinen Umdrehungspunkt hat; e d ist ein Hebel, welcher um den am Gerüst befestigten Punkt e drehbar ist.*

* Die Buchstaben von vorstehender Figur stimmen mit denen der Figur auf S. 341 überein.

Digitized by Google

Die Punkte b und d werden, wenn man sie auf und nieder bewegt, die punktirten Kreisbogen beschreiben. Sind sie nun durch das Mittelstück bd gelenkartig verbunden, so hindert dieses die Auf- und Niederbewegung nicht, indem es sich vermöge seiner Beweglichkeit immer den beiderseitigen Stellungen der beiden Hebel anbequemt. Hebt sich z. B. der Hebel bC bis nach b', so ist der Hebel ed bis nach d' gelangt, und das Mittelstück hat die Lage d'b'; beim Niedergange aber kommt dasselbe zuletzt in die Lage b''d''. Untersucht man nun, wie sich bei diesen verschiedenen Stellungen die Mitte (m) des Verbindungsstabes bd verhält, so findet sich, daß dieselbe sich immer in einer senkrechten Linie auf und ab bewegt. Die in m angehängte Stange der Luftpumpe wird daher senkrecht auf- und abspielen.

Um nun auch für die Kolbenstange einen ebenso vortheilhaften Punkt zu gewinnen, bringt man in dem Punkte d noch einen Stab an, welcher mit bA gleiche Länge hat, seinen freien Endpunkt aber verbindet man mit dem Punkte A durch einen Stab von der Länge bd. Der Verbindungspunkt der beiden letztgenannten Stäbe (Fig. auf S. 341 c) bewegt sich, gleich m, senkrecht auf und ab, und dort wird die Kolbenstange angehängt.

Will man eine recht klare Anschauung von der Bewegung des Watt'schen Parallelogramms gewinnen, so verbinde man Streifen von steifem Papier oder dünner Pappe in der beschriebenen Weise. Die Gelenke erhält man, indem man an den Verbindungsstellen kurze Fäden durchzieht, deren Enden auf beiden Seiten angeklebt werden. Nun lege man die Vorrichtung auf den Tisch, und steche durch jeden der festen Punkte C und e eine Nadel in denselben, um die unverrückbaren Umdrehungspunkte zu erhalten. Bewegt man jetzt das freie Ende des Balanciers auf dem Tische auf und nieder, so wird man sich von der Richtigkeit der oben gegebenen Darstellung überzeugen.

Digitized by Google

3. Die Regulirung des Zuflusses des warmen Wassers in den Kessel.

Der Kessel muß fortwährend etwa zu zwei Drittheilen mit Wasser gefüllt sein. Um den gleichmäßigen Wasserstand zu erhalten, ist oft folgende sinnreiche Vorrichtung angebracht. Auf dem Wasserspiegel des Kessels liegt ein Sandstein, der Schwimmer (Fig. auf S. 341 g), der zum Theil von der Kraft des Wassers getragen wird. Von ihm geht eine Stange h durch die Decke des Kessels dampfdicht (mittelst einer Stopfbüchse) empor und greift oben an den einen Arm eines zweiarmigen Hebels ik, dessen anderer Arm mit einem Gegengewichte beschwert ist. Hat das Wasser im Kessel die richtige Höhe, so ist die Vorrichtung in Ruhe. Nimmt es ab, so daß sich der Wasserspiegel niedriger senkt, so sinkt auch der Schwimmer, und zieht seinen Hebelsarm abwärts. Durch diese Bewegung wird das Bodenventil des mit warmem Wasser gefüllten Behälters W (s. oben) geöffnet, und es fließt durch die Röhre n so lange Wasser in den Kessel, bis es die normale Höhe wieder erreicht hat, worauf durch die Einwirkung des mit dem Wasser gestiegenen Schwimmers das Ventil geschlossen und ein fernerer Zufluß von Wasser verhindert wird.

Behufs größerer Sicherheit hinsichtlich des Wasserstandes hat der Kessel noch zwei durch Hähne verschlossene Proberöhren, o und p, von denen bei richtigem Wasserstande die erstere ins Wasser, die zweite nicht ganz so tief hinabreicht. Oeffnet man die Hähne, so muß o Wasser, p Dampf geben. Geben beide Dampf, so ist zu wenig Wasser im Kessel; geben beide Wasser, so steht dasselbe zu hoch.

Oft ist auch zur unmittelbaren Beobachtung des Wasserstandes außerhalb des Kessels eine mit ihm communicirende starke gläserne Röhre angebracht, in welcher das Wasser stets eben so hoch steht, als im Kessel.

4. Die Sicherheitsventile.

Um das Springen des Dampfkessels zu verhüten, ist er mit Sicherheitsventilen versehen, die so eingerichtet sind, daß sie dem

Digitized by Google

Dampfe den Ausgang gestatten, sobald seine Spannkraft zu groß wird. Sie sind daher mit Gewichten belastet, die in genauem Verhältniß zu der Kraft stehen, mit welcher der Dampf auf die Wände des Kessels drückt. Wenigstens das eine Ventil muß den Arbeitern unzugänglich gemacht sein, damit sie die Belastung desselben nicht vermehren können.

5. Der Centrifugal-Regulator.

Zur Regulirung (Gleichmäßigmachung) des Ganges der Dampfmaschine dient außer dem Schwungrade noch der § 43. beschriebene Centrifugal-Regulator, der durch eine von der Axe des Schwungrades kommende Schnur ohne Ende bewegt wird, und durch den mit ihm verbundenen Hebel eine Klappe im Dampfrohre H mehr oder weniger öffnet, wodurch ein größeres oder geringeres Einströmen des Dampfes in den Dampfkasten bewirkt wird.

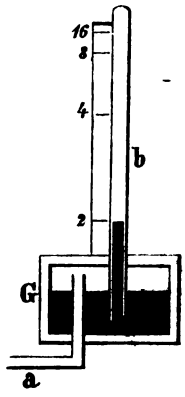
§ 151. Niederdruck- und Hochdruckmaschinen.

Bei der Watt'schen Dampfmaschine wird mittelst des Condensators auf der einen Seite des Kolbens stets ein luftleerer Raum erzeugt; dem auf der andern Seite wirksamen Dampfe tritt daher kein hindernder Luftdruck entgegen, und er bedarf, um den Kolben zu treiben, nur einer Kraft, welche dem gewöhnlichen Drucke der atmosphärischen Luft gleichkommt.

Diese Kraft, welche dem Drucke der Atmosphäre gleich ist, hat der aus siedendem Wasser emporsteigende Dampf, dessen freie Wärme, wie die des kochenden Wassers, + 80 °R. beträgt. Wird aber der Dampf noch weiter erhitzt, so nimmt seine Spannkraft bedeutend zu; schon bei + 97 °R. drückt er mit doppelter, bei + 116 °R. mit vierfacher Kraft.

Zur Messung der Spannkraft der Dämpfe dient das Manometer (Fig. auf S. 350). Es besteht aus einem starken, eisernen, zum Theil mit Quecksilber gefüllten Gefäße G, welches mit dem Dampfkessel durch das Rohr a verbunden ist. Der Druck der Dämpfe treibt das Quecksilber in die mit Luft gefüllte

Digitized by Google



Glasröhre b, und drückt dort die Luft zusammen. Die Zahlen der daneben befindlichen Scala zeigen an, wie vielen Atmosphären der Dampfdruck gleichkommt.

Läßt man nun Dampf von hoher Spannkraft auf den Kolben einer Dampfmaschine wirken, so ist die Herstellung eines luftleeren Raumes auf der entgegen gesetzten Seite nicht erforderlich, denn der Dampf überwindet mit Leichtigkeit den Gegendruck der Luft. In diesem Falle ist demnach der Condensator entbehrlich, so wie die um seinetwillen erforderlichen Pumpen; die Construction der Maschine ist ungleich einfacher, und sie erheischt weit weniger Raum.

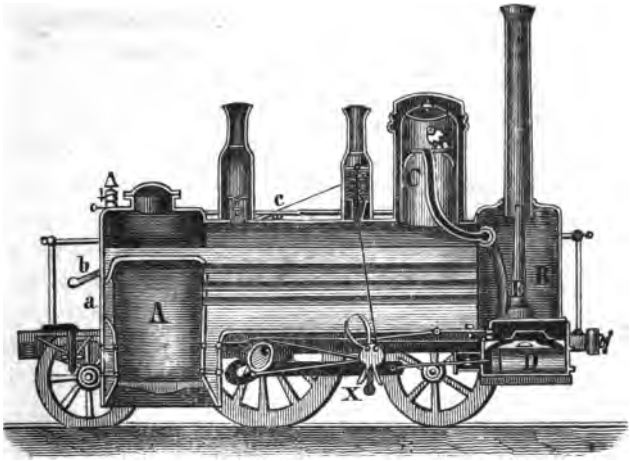
Eine Dampfmaschine *ohne* Condensator heißt eine *Hochdruckmaschine*; solche *mit* Condensation werden *Niederdruckmaschinen* genannt. Die wichtigste Hochdruckmaschine ist die *Locomotive* oder der *Dampfwagen*.

§ 152. Die Locomotive.

Wer sich mittelst des Vorangegangenen eine klare Vorstellung von den wesentlichen Theilen einer Dampfmaschine verschafft hat, wird die Construction des *Dampfwagens* oder der *Locomotive* (d. h. der Von-der-Stelle-Bewegerin) leicht auffassen. (S. Fig. auf S. 351.)

Die gewaltige eiserne Röhre, welche die Hauptmasse der Locomotive bildet, ist der *Dampfkessel*. Er ruht auf einem starken Wagengestell, welches von sechs Rädern getragen wird. Die beiden Mittelräder, *Triebräder* genannt, sind größer als die übrigen. Sie drehen sich nicht um ihre Axe, sondern werden zugleich mit dieser von der Maschine in Umschwung gebracht. Wir sehen nämlich, daß an der Axe eines Triebrades eine Kurbel (ein Krummzapfen) befindlich ist, an welche eine Leitstange (ein Gaukelmann) greift. Diese Leitstange aber ist nach vor

Digitized by Google



mit einer andern Stange verbunden, welche aus einer wagrechten Röhre hervorragt, und sich, sobald die Locomotive im Gange ist, hin und her bewegt. Wir erkennen in derselben sofort die Kolbenstange, in der Röhre aber den Dampfcylinder oder Stiefel. Auf der anderen Seite der Locomotive finden wir alle diese Theile ebenfalls; sie hat also zwei Dampfcylinder, und von den Kurbeln steht die eine wagrecht, wenn die andere senkrecht steht, wodurch eine gleichmäßige Bewegung erzeugt wird. Vorn an der Maschine steigt der hohe Schornstein empor; dann folgt eine kuppelförmige Erhöhung des Kessels, der Dampfdom, in welchem sich der aus dem kochenden Wasser emporsteigende Dampf sammelt; die beiden folgenden Thürmchen enthalten die Sicherheitsventile. Alle Räder haben an der Außenseite eine vorspringende Kante, damit sie nicht von den Schienen abgleiten können. Die Reibung ist auf den ebenen Schienen weit geringer, als auf einer anderen Unterlage, daher wird viele Kraft gespart.

Nachdem wir nun im Allgemeinen einen Ueberblick über die Haupttheile der Locomotive gewonnen haben, gehen wir ins Einzelne ein.

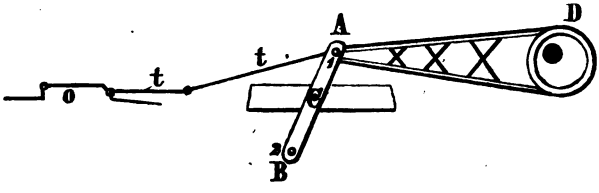
Digitized by Google

A ist der Feuerraum, welcher unten einen Rost, bei a aber eine Thür hat, durch welche der Heizer das auf einem an die Locomotive unmittelbar angehängten Kohlenwagen (Tender) befindliche Brennmaterial (entschwefelte Steinkohlen oder Coaks, spr. Kooks) einbringt. Die übrigen Seiten des Feuerraumes sind von dem Wasser des Kessels umgeben. — Der sehr stark gearbeitete Kessel ist von vorn nach hinten von 100 bis 150 Röhren von Messing durchzogen, die sich vorn in den Schornstein, hinten in den Feuerraum öffnen. (Die Zeichnung stellt nur einige derselben dar.) Die erhitzte Luft des Feuerraumes so wie der Rauch müssen ihren Weg durch diese Röhren nehmen, und entweichen durch den Schornstein. Durch die Erhitzung aller dieser Röhren wird eine schnelle Verdampfung des Wassers im Kessel bewirkt. Der Dampf sammelt sich über dem Wasser in dem Dampfdom C. Von dort gelangt er durch das herabführende Dampfrohr, welches sich in zwei Aeste theilt, in den Dampfkasten. (Die Zeichnung stellt nur eine Seite dar, man muß sich also von hier an Alles doppelt denken.) Aus dem Dampfkasten führen zwei Röhren in den Dampfcylinder (Stiefel) D, eine an das vordere, die andere an das hintere Ende desselben. Wird nun der Schiebekasten (das Schieberventil) so weit nach links gestoßen, daß der Dampf in die nach rechts führende Röhre gelangen kann, so kommt er auf die rechte Seite des Kolbens, und treibt denselben nach links. Der links befindliche Dampf muß nun in den Schornstein entweichen. Er gelangt durch den linken Kanal in den hohlen Schieber, aus diesem aber durch eine Röhre in das Blaserohr E, die ihn in den Schornstein führt. — Nun wird der Schiebekasten so weit nach rechts gezogen, daß der Dampf durch den linken Kanal in den Stiefel kommt. Der Kolben bewegt sich nach rechts, der auf der rechten Seite befindliche verbrauchte Dampf aber geht durch den linken Kanal in den Schieber und aus diesem auf dem vorhin beschriebenen Wege in den Schornstein. Wie nun durch die hin und her gehenden Kolbenstangen die Leitstangen und durch diese mittelst der

Digitized by Google

Kurbeln die Triebräder bewegt werden, ist bereits oben nachgewiesen. Durch das ruckweise Ausströmen des Dampfes aus dem Blaserohre in den Schornstein entsteht das eigenthümliche Puffen in demselben; zugleich wird dadurch der Luftzug verstärkt.

Nunmehr haben wir uns klar zu machen, in welcher Weise die Maschine das Hin- und Hergehen des Schiebekastens bewirkt, oder mit anderen Worten, wie die Steuerung eingerichtet ist. Dies stellt die nachstehende Figur dar.



Die von dem Schiebekasten o kommende Stange tt, welche aus zwei durch ein Gelenk vereinigten Theilen besteht, ist mit dem oberen Ende A des zweiarmigen Hebels AB verbunden, der in C seinen Umdrehungspunkt hat. Wird nun dieser Hebel an seinem oberen Ende A angefaßt und nach rechts gezogen, so bewegt sich auch der Schiebekasten nach rechts; wird A nach links bewegt, so geht auch der Schiebekasten nach links. Zieht man dagegen das untere Ende des Hebels, B, nach rechts, so geht der Schiebekasten nach links, und zieht man es nach links, so geht der Schiebekasten nach rechts. Je nachdem man also den Hebel AB oben oder unten anfaßt, kann man die Bewegung des Schiebekastens umkehren.

Die Bewegung des besprochenen Hebels, dessen fester Umdrehungspunkt sich an dem Wagengestell der Locomotive befindet, wird durch das Triebrad bewirkt. An der Axe desselben ist eine excentrische Scheibe D (§ 41) befestigt, die sich zugleich mit der Axe umdreht. Diese excentrische Scheibe ist von einem beweglichen Ringe umgeben. An diesem Ringe sind zwei Stangen befestigt, die sich an ihren andern Enden vereinigen und dort den Hebel AB bei A anfassen. Sobald sich nun

Digitized by Google

das Triebrad und mit ihm zugleich die excentrische Scheibe dreht, so muß der Punkt A, folglich der Schiebekasten, hin und her gehen. — Man verabsäume nicht, sich hiervon eine deutliche Anschauung zu verschaffen. Indem man eine Korkscheibe auf den Tisch legt und nahe an ihrem Rande eine Nadel senkrecht durch sie in den Tisch sticht, hat man die excentrische Scheibe. Um dieselbe lege man einen Ring von starkem Papier, an den man zwei Streifen Papier einander gegenüber so anklebt, daß sich ihre freien Enden vereinen. Dreht man nun die Korkscheibe um die Nadel, so geht der Vereinigungspunkt der Papierstreifen hin und her.

Könnte man es bewirken, daß die von der excentrischen Scheibe kommenden Stangen den Hebel bei B anfaßten, so würde die Bewegung des Schiebekastens sofort umgekehrt, und der Dampfwagen ginge rückwärts.

Da nun eine rückgängige Bewegung der Locomotive in der That oft erforderlich ist, so ist dafür gesorgt, daß die von der excentrischen Scheibe kommenden Stangen an ihrem Vereinigungspunkte den Hebel AB nach Willkühr des Maschinisten eben so leicht oben bei A als unten bei B anfassen können. Der Hebel hat nämlich nicht weit von jedem seiner Endpunkte einen Knopf. Diese Knöpfe sind in der Figur auf S. 353 mit 1 und 2 bezeichnet. Die von der excentrischen Scheibe kommenden Stangen aber vereinigen sich nicht unmittelbar, sondern sie sind mit einer X-förmigen Vorrichtung (s. Fig. auf S. 351 x) verbunden. Soll nun die Locomotive vorwärts fahren, so wird der obere Knopf (1) des Hebels von dem oberen Winkel des X umfaßt, und der Schiebekasten geht in der gewöhnlichen Ordnung hin und her. Soll dagegen die Locomotive rückwärts gehen, so wird das X hinabgedrückt, so daß es mit seinem unteren Winkel den unteren Knopf (2) des Hebels faßt, wodurch, wie oben gezeigt wurde, der Schiebekasten, folglich der Kolben, die Treibstange und das Treibrad, mithin die ganze Maschine umgekehrte Bewegung erhalten. Das Herabdrücken und Emporziehen des X geschieht mittelst der Rückstange, eines zwei-

Digitized by Google

armigen Hebels (bc Fig. auf S. 351), der in c seinen Unterstützungspunkt hat, und von dessen hinterem Ende eine Stange zu dem Kreuze hinabführt. Hebt der Maschinist bei b diesen Hebel, so wird das X hinabgedrückt; drückt er ihn abwärts, so steigt es empor.

Nicht alle Locomotiven haben ein X; bei manchen sind zwei excentrische Scheiben an der Axe jedes Triebrades, deren Umdrehungspunkte einander gerade entgegengesetzt sind. Durch einen Druck kann die Bewegung des Schiebers von der einen auf die andere übergetragen und somit der Gang der Maschine umgekehrt werden.

Die Schnelligkeit der Bewegung der Locomotive hängt von der auf den Kolben wirkenden Dampfmenge ab. Damit der Maschinist sie regeln könne, vermag er mittelst einer einfachen Vorrichtung eine in dem Dampfrohre befindliche Klappe mehr oder weniger zu öffnen.

Gegenwärtig baut man fahrbare Dampfmaschinen, Locomobilen genannt, welche man zur Verrichtung verschiedener Geschäfte, z. B. zum Betriebe von Dreschmaschinen, bei Entwässerungsarbeiten, selbst zum Ziehen der Pflüge verwendet.

§ 153. Die Leistungen der Dampfmaschinen in Pferdekräfte ausgedrückt.

Man nimmt an, daß ein Pferd in einer Secunde 180 Pfund 3 Fuß hoch, oder in einer Minute ungefähr 33000 Pfund 1 Fuß hoch zu heben im Stande sei. Da es aber nicht gleichmäßig fortarbeiten kann, so berechnet man nur 22000 Pfund. Weiß man nun, wieviel Pfund eine Dampfmaschine in einer Minute einen Fuß hoch zu heben vermag, so dividirt man diese Zahl mit 22000, um die Zahl der Pferde zu finden, mit denen sie Gleiches leistet. Da aber ein Pferd täglich nur acht Stunden angestrengt arbeiten kann, so verdreifacht man die gefundene Zahl.

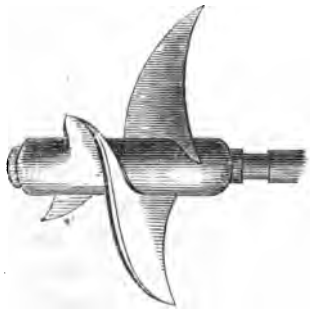
Hebt z. B. eine Dampfmaschine in einer Minute 88000 Pfund einen Fuß hoch, so leistet sie soviel als $^{88000}/_{22000} = 4 \times 3 =$ 12 Pferde, und man sagt, es sei eine Maschine von 12 Pferdekraft.

Digitized by Google

§ 154. Die Dampfschiffe.

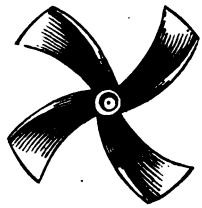
Im Jahre 1807 baute der Nordamerikaner Robert Fulton das erste Dampfschiff; jetzt fahren deren Tausende auf der See und auf Strömen. Man verwendet für dieselben Watt'sche Niederdruckmaschinen, bei denen um der Raumersparniß willen der Wagebalken unterhalb des Dampfcylinders liegt. Die Maschine setzt in bekannter Weise eine Welle in Bewegung, an welcher sich auf jeder Seite des Schiffes ein großes Schaufelrad befindet, das ganz dem Wasserrade einer unterschlächtigen Mühle gleicht. Um das Schwungrad ersparen zu können, sind gewöhnlich zwei Maschinen thätig, von deren Kurbeln die eine wagrecht steht, wenn die andere senkrechte Stellung hat.

Die Raddampfer sind übrigens nicht frei von mancherlei Unbequemlichkeiten und Unvollkommenheiten. Bei heftig bewegter See taucht bald das eine, bald das andere Rad tief ein, während das auf der entgegen gesetzten Seite befindliche emporsteht, und in diesem Falle ist das Schiff schwer zu lenken. Die Räder nehmen überdies viel Raum weg, und oft genügen im Seegefechte ein Paar Kugeln auf den Räderkasten, um ein Dampfschiff kampfunfähig zu machen. Auf Kanälen leiden die Uferbauten sehr viel durch den starken Wellenschlag, welchen die Räder verursachen. Diese Uebelstände werden bei den Schraubendampfern vermieden. Einem solchen sieht man es nur am Schornsteine an, daß er durch Dampf getrieben wird. Die Maschinenwelle geht nicht quer durch das Schiff, sondern liegt seiner Längenrichtung nach. Sie ist wasserdicht durch die Hinterwand geführt, und trägt an dem herausragenden Theile die sogenannte Schraube. Diese besteht eigentlich nur aus einer einzigen Schraubenwindung, der man jedoch sehr verschiedene



Digitized by Google

Formen giebt, von denen die Figur auf S. 356 eine zeigt. Manchmal sieht die Vorrichtung gar nicht mehr einer Schraube ähnlich, sondern sie gleicht eher vier kurzen Windmühlenflügeln oder den zur Ventilation dienenden Windrädchen in den Fenstern (s. Fig.); dennoch beruht ihre Wirkung immer auf dem Gesetze der Schraube, oder, was auf Eins hinausläuft, auf dem der schiefen Ebene. Dreht man eine Schraube im Holze, so rückt sie fort; dasselbe geschieht hier im Wasser, welches gleichsam die Schraubenmutter abgiebt. Allerdings ist die Fortrückung im Wasser bei einer Umdrehung der Schraube nicht der vollen Höhe eines Schraubenganges gleich, denn das Wasser ist nachgiebig und weicht dem Drucke der Schraubenflächen sowohl nach hinten als nach den Seiten aus; immer aber wird einige Fortbewegung erreicht, und wenn die Welle recht geschwind umgedreht wird, so erhält man aus vielen kleinen Einzelwirkungen eine sehr beträchtliche Gesammtwirkung. Die Schiffsschrauben machen daher 100, 150 und mehr Umdrehungen in einer Minute, und setzen dadurch das Schiff in rasche Bewegung. — Viele Schiffe sind gleichzeitig mit Rädern und mit der Schraube versehen. Der erste, welcher die Anwendnng der Wasserschraube — man nennt sie auch die archimedische Schraube oder Wasserschnecke — zur Bewegung der Schiffe benutzte, war ein Deutscher Namens Ressel (1827).



§. 155. Ericssons calorische Maschine.

Da eine Dampfmaschine einen bedeutenden Aufwand an Brennmaterial erfordert, einen verhältnißmäßig großen Raum einnimmt, und die Gefahr vor Explosionen mit sich führt, so hat man schon lange nachgedacht, ob man sie nicht durch eine wohlfeilere, in kleineren Räumen leicht aufzustellende und gefahrlose Maschine ersetzen könne. Eine solche ist die von dem Schweden Ericsson erfundene calorische oder Heißluft-Maschine,

Digitized by Google

welche namentlich in Amerika bereits vielfach angewendet wird, in neueſter Zeit aber auch in Deutſchland Eingang findet.

Wir wiſſen, daß die Luft durch die Wärme ausgedehnt, ſo wie daß durch Erwärmung derſelben ihre Spannkraft vermehrt wird. Erhitzt man nun die Luft in einem geſchloſſenen Raume, ſo wird ſie einen Druck auf die Wandungen ausüben, und wenn dieſer Raum ein Cylinder mit einem beweglichen Kolben iſt, ſo wird der letztere fortgetrieben werden, und im Stande ſein ein Schwungrad in Bewegung zu ſetzen. Iſt dieſes einmal im Umſchwunge, ſo vermag es den Kolben wieder in ſeine erſte Stellung zurückzutreiben. Jedesmal, wenn ſich der Kolben dem Feuerraume nähert, bringt er eine neue Quantität kalte Luft mit ſich, durch deren Erhitzung und Ausdehnung er wieder von dem Feuerraume hinweggetrieben wird, wodurch das Schwungrad einen neuen Anſtoß erhält. — Die ſpecielle Beſchreibung der ſinnreichen und ziemlich verwickelten Maſchine müſſen wir uns verſagen.

IV. Die Verbreitung der Wärme.

§ 156. 1) Die Verbreitung der Wärme durch Leitung.

Wenn wir einen Blechlöffel am Ende ſeines Stieles faſſen, und ihn vorn ins Feuer halten, ſo empfinden wir bald eine ſolche Hitze, daß wir ihn nicht länger zu halten vermögen. Wie gelangt nun wohl die nur dem äußeren Theile des Löffels mitgetheilte Wärme zu unſerer Hand? — Sie theilte ſich zuerſt den zunächſt liegenden Theilen des Metalles mit, von dieſen wurde ſie auf die nächſtfolgenden fortgeleitet, bis ſie endlich aus dem von uns feſtgehaltenen Stücke in unſere Hand übergeführt wurde. Das Metall leitet alſo die Wärme fort.

Faſſen wir im kalten Winter einen Thürdrücker an, der ſich im Freien befunden hat, ſo fühlen wir eine empfindliche Kälte. Das Metall leitet die Wärme aus unſerer Hand fort. — Reichen wir einem in der Fieberhitze liegenden Kranken die Hand, ſo geht die Wärme aus ſeiner Hand in die unſere über, und letztere

Digitized by Google

wird gleichfalls warm. — Baden wir uns in recht kaltem Wasser, so schüttelt uns ein Frost. Das Wasser leitet die Wärme aus unserm Körper fort. — Wenn in dem Ofen eines kalten Zimmers Feuer gemacht wird, so wird nur die Luft in dem Feuerraume unmittelbar erwärmt; diese theilt ihre Wärme den Kacheln mit; von den Kacheln wird sie der Luftschicht zugeführt, welche den Ofen zunächst umgiebt; von dieser der nächstfolgenden u. s. f. Diese Beispiele mögen hinreichen zu zeigen, was unter der Verbreitung der Wärme durch Leitung zu verstehen sei.

Es leitet aber nicht ein Körper die Wärme so schnell, als der andere. Während wir den an einem Ende glühenden kurzen Drath nicht mit der Hand halten können, spüren wir gar keine Wärme in unsern Fingern, wenn wir ein kurzes Holzstäbchen, z. B. ein Streichhölzchen, anzünden. Eine kurze Metallröhre, deren Mitte wir über die Spitze einer Weingeistflamme halten, wird schnell unerträglich heiß; eine Glasröhre dagegen können wir mit bloßen Fingern an ihren Enden fassen, wenn auch ihre Mitte heftig glüht, wie dies z. B. beim Biegen der Glasröhren der Fall ist. Wir sagen daher: Metalle sind gute, Holz und Glas schlechte Wärmeleiter.

Unter den gewöhnlicheren Metallen ist Silber der beste, Blei der schlechteste Wärmeleiter. Schlechte Wärmeleiter sind: Haare, Wolle, Seide, Federn, Stroh, Heu, Holz, Kohlen, Asche, Horn, Papier, Schnee, Wasser und überhaupt alle tropfbarflüssigen Körper mit Ausnahme des Quecksilbers, ferner die trockene Luft. Ein mittleres Leitungsvermögen besitzen Steine, Ziegeln und Glas.

Dieses verschiedene Verhalten der Körper hinsichtlich der Fortleitung der Wärme wird in mannigfachster Weise von dem Menschen benutzt.

Soll Wärme rasch verbreitet werden, so wendet man gute Wärmeleiter an; soll die innere Wärme eines Körpers in ihm zurückgehalten oder die äußere Wärme von ihm abgehalten werden, so muß man ihn mit schlechten Wärmeleitern umgeben.

Digitized by Google

Hierbei ist zu berücksichtigen, daß ein guter Wärmeleiter zwar die Wärme sehr bald annimmt, also rasch erhitzt wird, daß er sie aber eben so schnell wieder abgiebt, also bald erkaltet; ein schlechter Wärmeleiter dagegen wird langsam warm, erkaltet aber eben so langsam.

Wenn es darauf ankommt, ein Zimmer rasch aber auf kurze Zeit zu erwärmen, so wendet man einen eisernen Ofen an, der in Folge seines guten Leitungsvermögens schnell warm aber eben so schnell kalt wird. Soll dagegen das Zimmer möglichst lange warm bleiben, so erreicht man diesen Zweck mittelst eines weißen glasirten Ofens am besten; allerdings dauert es bei diesem weit länger, ehe er die Luft des Zimmers zu erwärmen vermag. Schwarze und unglasirte Kachelöfen sind bessere Wärmeleiter, als weiße und glasirte; sie werden daher schneller warm als diese, aber auch schneller kalt.

Bei dem Kochen der Speisen kommt es uns darauf an, daß die Wärme des Feuers möglichst rasch in das Gefäß eindringe, und von diesem schnell an die darin enthaltene Speise abgegeben werde. Wir müssen also gute Leiter anwenden, und in metallnen Geschirren kocht Alles schneller als in irdenen. Ruß ist ein guter Wärmeleiter, daher kocht es in rußigen Töpfen rascher als in blank gescheuerten.

In sehr vielen Fällen kommt es uns darauf an, daß die natürliche Wärme eines Körpers zusammengehalten und vor dem Entweichen bewahrt, oder, wie es gewöhnlich ausgedrückt wird, daß dem Eindringen der Kälte gewehrt werde. Um dies zu bewirken, muß der betreffende Körper mit schlechten Wärmeleitern umgeben werden.

Durch ihre Bekleidung mit Haaren, Wolle und Federn wird die natürliche Blutwärme der Thiere in ihrem Körper zurückgehalten; durch Pelze, wollene Kleider und Betten bewirken wir dasselbe bei unserem von der Natur nicht mit dergleichen Schutzmitteln ausgestatteten Körper. Auf einem Teppich von Wolle oder Pelzwerk bleiben unsere Füße warm, ebenso in Filzschuhen.

Digitized by Google

Unter einem Strohdache bleibt es im Winter wärmer, als unter einem Ziegeldache; am kältesten ist es unter einem Metalldache. Die zwischen Doppelfenstern und Doppelthüren eingeschlossene schlecht leitende Luftschicht läßt die Zimmerwärme weit langsamer entweichen, als dies bei einfachen Fenstern und Thüren der Fall ist. Kellerlöcher verdeckt man im Winter mit Stroh oder Mist, damit die Wärme aus dem Keller nicht entweiche. Bäume, Weinstöcke, Pumpenröhren u. s. w. umhüllt man im Winter mit Stroh. Die Glasfenster der Treibhäuser und Frühbeete werden mit Strohmatten bedeckt. Der Schnee schützt die Saaten vor dem Erfrieren.

Während in allen diesen Fällen das Zusammenhalten der vorhandenen Wärme beabsichtigt wurde, suchen wir in anderen Fällen das Eindringen der Wärme zu vermindern, um einen Gegenstand möglichst kühl zu erhalten. Auch dies erreichen wir durch schlechte Wärmeleiter.

Weil Holz schlechter leitet, als Steine und Ziegeln, verkleidet man Eisgruben inwendig mit Holz. Will man eine glühende Kohle tragen, so bedeckt man die Hand mit Asche, und legt die Kohle auf diese. Ebenso giebt man feuerfesten Geldschränken doppelte Wände, und füllt die Zwischenräume mit Asche aus. Der Tischler giebt seinem Leimtiegel einen hölzernen Handgriff; einen solchen hat auch das Plätteisen. Heiße Töpfe faßt man mit einem feuchten Lappen an. Ein Glas zerspringt auf dem heißen Ofen nicht, wenn man ein Blatt Papier unterlegt. Würde ein Erfrorener sofort in die Wärme gebracht, so würde ihn dieselbe tödten, indem die zusammengezogenen Gefäße sich plötzlich ausdehnen und zerreißen würden. Man vergräbt ihn daher in Schnee und erwärmt ihn allmählig durch Reiben.

§ 157. Die Verbreitung der Wärme durch Leitung in tropfbaren und luftförmigen Körpern.

Bei den tropfbar-flüssigen und luftförmigen Körpern findet, wie bei den festen, eine Verbreitung der Wärme durch Leitung statt, und zwar sind sie fast sämmtlich schlechte Wärmeleiter.

Digitized by Google

Legt man z. B. eine glühende Eisenplatte auf einen Topf mit kaltem Wasser, so wird dasselbe nur an seiner Oberfläche ein Wenig erwärmt; die tieferen Schichten bleiben völlig kalt. Hält man ein offenes mit kaltem Wasser gefülltes Probirgläschen schräg über die Flamme einer Weingeistlampe, so daß dieselbe nur an den oberen Theil des Gläschens schlägt, so bleibt das Wasser am Boden noch kalt, während es an der Oberfläche bereits siedet und verdampft. — Wäre die Luft ein guter Wärmeleiter, so würde sie im Winter dem menschlichen und thierischen Körper schnell alle Wärme entführen, und Erstarrung und Tod bewirken. Betten und Pelze halten zwischen den Federn und Haaren viele Luft fest, deshalb ist ihr Leitungsvermögen so gering.

Dennoch findet unter Umständen eine rasche Verbreitung der Wärme in tropfbarflüssigen und luftförmigen Körpern statt. Stellt man z. B. ein Gefäß mit kaltem Wasser auf einem Dreifuße über das Feuer, so werden die untersten Schichten zuerst ausgedehnt. Dadurch werden sie leichter als die oberen, steigen empor, und geben während ihres Aufsteigens einige Wärme an die Wassertheilchen ab, bei denen sie vorbeigehen. Die kalten Wasserschichten aber sinken auf den Boden des Gefäßes herab, werden dort gleichfalls erhitzt, und steigen in die Höhe, so daß bald das sämmtliche Wasser ins Sieden geräth. — In einem mit heißem Wasser gefüllten Gefäße kühlt sich zuerst die Oberfläche ab. Das obere Wasser wird dadurch schwerer und sinkt nieder; die an seine Stelle getretene wärmere Wasserschicht erkaltet ebenfalls und sinkt, und so geht es fort, bis die ganze Masse kalt geworden ist. Diese Art der Verbreitung der Wärme wird ganz passend die Verbreitung durch Strömung genannt.

Ein ähnliches Verhalten zeigt die Luft. Die erwärmten Luftschichten strömen aufwärts, die kälteren sinken herab u. s. f. Daher verursacht uns der Wind und der Luftzug das Gefühl der Kälte, da die vorüberziehenden kalten Lufttheilchen unserm Körper fortwährend etwas Wärme rauben. Wir kühlen unser heißes Gesicht durch Wehen mit einem Tuche; die heißen Speisen werden durchs Blasen oder indem man sie in den Zug stellt, schnell kalt.

Digitized by Google

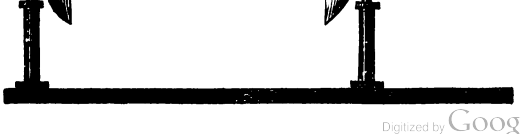
§ 158. 2) Die Verbreitung der Wärme durch Strahlung.

Setzt man sich vor die offene Thür eines Ofens, in welchem Feuer brennt, so empfindet man eine heftige Gluth. Dabei ist die Luft, in welcher wir uns befinden, keineswegs so heiß, denn sobald wir die Ofenthür schließen, oder eine Glastafel, ein Blatt Papier u. dgl. zwischen unser Gesicht und die Flamme bringen, ist die brennende Hitze verschwunden. — Die Gluth der Sonnenstrahlen, welche unser Haupt treffen, wird sogleich abgehalten, wenn wir einen Schirm über uns ausspannen. —

Mithin gehen von einem erwärmten Körper geradlinige Wärmestrahlen aus, ganz so, wie ein leuchtender Körper geradlinige Lichtstrahlen aussendet, und diese Wärmestrahlen können durch feste Körper unterbrochen werden. Der Luft aber, durch welche die Wärmestrahlen gehen, wird durch dieselben fast gar keine Wärme mitgetheilt.

Während die von irdischen Wärmequellen ausgestrahlte Wärme selbst durch eine durchsichtige Glastafel abgehalten werden kann, dringt die strahlende Wärme der Sonne durch das Glas hindurch. Dies werden wir alsbald gewahr, wenn wir uns in einem Zimmer an ein von der Sonne bestrahltes Fenster stellen. Während die Pflanzen in den Gewächshäusern und Frühbeeten mittelst der die Glasscheiben durchdringenden Sonnenstrahlen erwärmt werden, tritt die von den Gewächsen ausgestrahlte Wärme durch die Glasfenster nicht aus.

Wie durch einen Hohlspiegel die Lichtstrahlen in seinem Brennpunkte vereinigt werden, so ist dies auch mit den Wärmestrahlen der Fall. Stellt man zwei große Hohlspiegel einander gegenüber auf, so daß ihre Axen in eine gerade Linie zusammen-



Digitized by Google

fallen, und bringt man alsdann in den Brennpunkt des einen eine brennende Flamme, in den Brennpunkt des andern einen leicht entzündlichen Körper, z. B. Phosphor, so geräth derselbe in Brand. Denn die aus dem Brennpunkte des ersten Spiegels auf denselben fallenden Wärmestrahlen werden parallel zurückgeworfen (§ 101), fallen parallel auf den zweiten Hohlspiegel, und werden von diesem in seinem Brennpunkte vereiniget (§ 99).

Nicht allein leuchtende, sondern auch dunkle Körper senden Wärmestrahlen aus, aber es geschieht nicht von allen in gleichem Maaße, so daß es, wie wir gute und schlechte Wärmeleiter kennen lernten, auch gute und schlechte Wärmestrahler giebt.

Je dunkler und rauher die Oberfläche eines Körpers ist, desto mehr Wärme strahlt er aus, desto schneller erkaltet er natürlich auch. Daher erhitzt ein rauher, schwarzer Ofen das Zimmer schneller, als ein blanker, glänzender. Der mit Gras und Kräutern bedeckte Erdboden strahlt weit mehr und schneller seine Wärme aus, als kahler Sandboden; deshalb wird jener am Abende zuerst kalt und beschlägt mit Thautropfen (§ 141).

Glänzende und polirte Oberflächen sind schlechte Wärmestrahler; in einer glänzend polirten Kaffeemaschine bleibt der Kaffee lange warm. Von zwei mit heißem Wasser gefüllten gleichgroßen Flaschen, von denen die eine mit schwarzem, glanzlosem Papier, die andere mit glänzendem Gold- oder Silberpapiere oder mit Stanniol überzogen ist, verliert die erstere ihre Wärme durch die Ausstrahlung schneller als die andere.

Wie ein dunkler, rauher Körper seine Wärme schneller ausstrahlt, so nimmt er auch die auf ihn fallenden Wärmestrahlen leichter in sich auf, und wird durch sie früher erwärmt als ein hellfarbiger oder glänzender Körper, der dieselben zurückwirft. Füllt man z. B. die vorhin gebrauchten Flaschen mit kaltem Wasser und setzt sie den Sonnenstrahlen aus, so ist die mit schwarzem Papier umgebene schon erwärmt, wenn die Temperatur des Wassers in der mit einem metallischen Ueberzuge versehenen Flasche noch fast gar

Digitized by Google

nicht gestiegen ist. Schwarzes Papier entzündet sich mittelst des Brennglases schneller, als weißes. Unter schwarzen Tuchfleckchen, die man auf den Schnee legt, schmilzt derselbe, unter weißen nicht.

Von diesen Erfahrungssätzen wird im practischen Leben vielfach Anwendung gemacht. Wir wählen für den Winter dunkle Kleiderstoffe, weil sie die von der Sonne und vom Ofen kommenden Wärmestrahlen aufnehmen; im Sommer kleiden wir uns in helle Farben, welche die Sonnenstrahlen zurückwerfen. Schwarze Kleider sind im Sommer sehr warm. Dunkle Wände nehmen die Sonnenstrahlen auf, werden warm, und theilen ihre Wärme den an ihnen befindlichen Spiralbäumen und Reben mit; weiße Mauern werfen die Strahlen zurück und senden sie entfernteren Gegenständen zu, weshalb man in manchen Weinbergen weiße Mauern errichtet, damit die von ihnen abprallenden Wärmestrahlen den entfernteren Gegenständen zu gut kommen.

Schließlich sei noch erwähnt, daß die verschieden gefärbten Lichtstrahlen des Sonnenspectrums verschiedene Wärme zeigen; dieselbe nimmt vom Violetten nach dem Rothen hin zu; aber auch jenseit des Violetten und Rothen findet noch Erwärmung statt, es müssen daher außer den farbigen Strahlen noch solche vorhanden sein, welche für unser Auge unsichtbar sind.

§ 159. Die Temperatur der Mischungen. Specifische Wärme und Wärmecapacität.

Wenn sich zwei Körper von ungleicher Wärme berühren, so theilt der wärmere dem weniger warmen so lange Wärme mit, bis beide gleiche Temperatur haben.

Mischt man von einem und demselben Stoffe zwei gleiche Massen von verschiedenem Wärmegrade, z. B. ein Pfund Wasser von $+ 24^0$ und ein Pfund von $+ 72^0$, so nimmt die Mischung eine Wärme von der Hälfte der Summe an. Im gegebenen Falle erhält man $24 + 72 = \frac{96}{2} = 48^0$; das weniger warme Wasser hat also 24^0 gewonnen, das wärmere ebensoviel verloren. Dasselbe Ergebniß erhält man, wenn man gleiche Mengen von Weingeist, Oel u. s. w. zu dem Versuche verwendet.

Digitized by Google

Ganz anders ist es, wenn die unter einander gemischen Stoffe ungleichartig sind. Ein Pfund Wasser von + 70° C. und ein Pfund Leinöl von + 100° C. geben nicht 70 + 100 = $\frac{170}{2}$ = 85°, sondern nur 80°, so daß das Wasser nur 10° gewinnt, während das Leinöl 20° verliert. Ebenso giebt ein Pfund Wasser von + 100° C. und ein Pfund Leinöl von + 70° C. nicht 85°, sondern 90°, so daß das Wasser 10° verliert, während das Leinöl 20° gewinnt. — Ein Pfund Wasser von + 30° und ein Pfund Eisenfeile von + 10° geben 28°; ein Pfund Eisenfeile von + 30° und ein Pfund Wasser von + 10° geben 12°. Im ersteren Falle verliert das Wasser 2 Grad, während das Eisen 18° gewinnt; im letzteren verliert das Eisen 18°, das Wasser gewinnt 2°.

Aus diesen Wahrnehmungen folgt, daß die verschiedenen Körper verschiedene Wärmemengen zur Steigerung ihrer Temperatur bedürfen. 18° von dem Eisen abgegebene Wärme vermochten die gleiche Wassermenge nur um 2° zu erwärmen; das Wasser bedarf also neunmal so viel Wärme, um zu derselben Temperatur zu gelangen, die das Eisen annimmt. Ebenso erhöhten 20° Wärme, welche das Leinöl an das Wasser abgab, die Temperatur des letzteren nur um 10°, das Wasser erfordert also doppelten Wärmezufluß, wenn es mit dem Leinöl gleichen Schritt halten soll. Man müßte daher unter ein Gefäß mit Wasser zwei Spiritusflammen setzen, unter ein eben soviel Leinöl enthaltendes aber nur eine, wenn beide Flüssigkeiten gleichschnell und gleichstark erwärmt werden sollten.

Ein Körper faßt also mehr Wärme, nimmt mehr Wärme in sich auf, als der andere. Dieses verschiedene Wärmefassungs-Vermögen nennt man die Wärme-Capacität, und die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um gleiche Gewichtsmengen verschiedener Körper um eine gleiche Anzahl von Graden zu erwärmen, wird die specifische Wärme der Körper genannt. Man vergleicht die Körper in dieser Beziehung mit dem Wasser, welches unter allen festen und flüssigen Körpern die große Wärmecapacität, mithin die größte specifische Wärme besitzt.

Digitized by Google

Nimmt man die specifische Wärme des Wassers = 1000
so ist die des Wasserdampfes . . . . . = 846
der atmosphärischen Luft . . . . = 267
des Schwefels . . . . . = 200
des Glases . . . . . = 180
des Eisens . . . . . = 110
des Quecksilbers . . . . . = 33
des Bleies . . . . . = 29.

Wegen seines ungemein großen Wärmefassungsvermögens bedarf das Wasser zu seiner Verdampfung und Verdunstung ungleich mehr Wärme, als jede andere Flüssigkeit. Darauf beruht seine kühlende Eigenschaft; es kühlt im Munde, im Magen und auf der Haut mehr, als ein gleiches Gewicht jedes anderen Stoffes es thun würde, und mildert die Gluthhitze des Sommers in hohem Grade. Weil Wasserdämpfe eine so bedeutende Menge von Wärme in sich bergen, kann man sie zur Heizung benutzen. Man verdampft nämlich im Erdgeschoß eines Gebäudes in einem ringsum verschlossenen Dampfkessel Wasser, und leitet die Dämpfe in eisernen Röhren durch die zu heizenden Räume. Indem sich der Dampf in den Röhren verdichtet, giebt er seine gebundene Wärme frei, das entstandene Wasser aber fließt in den Kessel zurück, weshalb die Röhren eine schräge Lage haben.

V. Die Natur der Wärme.

§ 160.

So wie man früher einen besonderen Lichtstoff, eine Lichtmaterie annahm (§ 122), so meinte man auch, es gäbe einen besonderen Wärmestoff, eine Wärmematerie. Beide rechnete man zu den Imponderabilien d. i. zu den unwägbaren Stoffen. Seit man aber erkannt hat, daß es keine Lichtmaterie giebt, daß vielmehr das Licht eine Wirkung der Wellenbewegung des Aethers ist, hat man auch hinsichtlich der Wärme die frühere Ansicht aufgegeben, und erklärt auch sie aus den Schwingungen des Aethers, da ja Licht- und Wärme-

Digitized by Google

Erscheinungen häufig in der innigsten Verbindung auftreten, und da ferner die Wärmestrahlen zugleich mit den Lichtstrahlen und in ganz gleicher Weise mittelst des Hohlspiegels zurückgeworfen und mittelst des Brennglases in einen Punkt vereinigt werden.

Man darf sich keinen Stoff als eine ungeordnete Masse vorstellen, sondern jeder Körper besteht aus unendlich kleinen, selbst dem bewaffneten Auge unsichtbaren, untheilbaren und undurchdringlichen Theilen, welche man Atome (d. h. Untheilbare) oder Moleküle nennt. Alle Atome eines und desselben Körpers sind einander völlig gleich, von den Atomen jedes anderen Körpers aber verschieden, namentlich hinsichtlich ihres Gewichtes. Wie nun die Sterne durch Zwischenräume getrennt sind, welche weit größer sind, als sie selbst, so berühren sich auch die einzelnen Atome eines Körpers nicht, sondern sie sind durch Zwischenräume geschieden, welche, obschon sie unserem Auge unsichtbar sind, doch die Atome an Größe übertreffen. Wie die Weltkörper, so werden auch die Atome durch die Anziehungskraft zusammengehalten, und diese Anziehungskraft nimmt in dem Grade ab, in welchem die Entfernung der Atome zunimmt. Darauf gründen sich die drei Zusammenhangs- oder Aggregatsformen der Körper. Bei festen oder starren Körpern sind die Zwischenräume am kleinsten, daher werden sie durch die Anziehungskraft am innigsten zusammengehalten; bei den flüssigen Körpern sind die Zwischenräume größer, die Anziehungskraft ist also geringer; bei den luftförmigen Körpern ist die Entfernung der Atome so groß, daß gar keine Anziehung mehr stattzufinden scheint.

Alle Zwischenräume nun füllt der Aether aus, ein ungemein feiner und sehr elastischer Stoff. Geräth derselbe in rasche Schwingungen, so entsteht das Licht; durch langsamere Schwingungen wird die Wärme erzeugt. Durch diese wird die Elasticität des Aethers vermehrt, er treibt die Atome weiter aus einander, und macht auf diese Weise, daß starre Körper flüssig, flüssige aber luftförmig werden.

Dies ist die Theorie (Lehre) von der Wärme, wie sie gegenwärtig von allen Physikern angenommen wird.

Digitized by Google

§ 161. Fragen und Aufgaben zur Wiederholung.

1. Wie nennen wir die verschiedenen Grade der Wärme, je nachdem dieselbe geringer ist als unsere Blut- oder Körperwärme, oder bedeutender als diese?
2. Was versteht man unter der Temperatur eines Körpers?
3. Welches sind die Erregungsmittel der Wärme?
4. Wovon hängt die größere oder geringere Wärmeerzeugung durch die Sonnenstrahlen ab?
5. In welche Stunde pflegt die größte Tageswärme zu fallen und warum?
6. In welchen Monat pflegt die größte Jahreswärme zu fallen und warum?
7. Gieb Beispiele an, welche zeigen, daß durch Reibung Wärme erzeugt wird!
8. Beschreibe das pneumatische Feuerzeug!
9. Führe einige chemische Prozesse an, bei denen bedeutende Wärme entsteht!
10. Wie nehmen wir die eigenthümliche Wärme des Erdkörpers wahr?
11. Woraus schließt man, daß dieselbe im Abnehmen begriffen sei?
12. Welchen Einfluß hat die Wärme auf das Volumen der Körper?
13. Belege dies mit Beispielen von festen Körpern!
14. Wie unterscheidet sich das Eisen von Blei hinsichtlich seines Verhaltens bei dem Schmelzen?
15. Wie ist das leichtflüssige Rose'sche Metall zusammengesetzt?
16. Was ist latente Wärme?
17. Wie kann man zeigen, daß das Wasser viele Wärme in sich enthält, wenn diese auch durch das Thermometer nicht nachgewiesen werden kann?
18. Wärme dehnt die festen Körper aus — warum schrumpft aber das Obst beim Abbacken zusammen?
19. Warum läuft die in einem vollen Topfe ans Feuer gesetzte Flüssigkeit über?
20. Sprich dich über das Ausnahmsgesetz des Wassers aus!
21. Worin besteht die hohe Wichtigkeit desselben für den Haushalt der Natur?
22. Wie unterscheidet sich die Eisbildung in stehenden Gewässern von der in rasch fließenden?
23. Wie wird durch die Wärme die Aggregatsform der Körper verändert?
24. Beschreibe das Thermometer!
25. Welches sind die gebräuchlichsten Arten der Thermometer, und wie unterscheiden sie sich von einander?
26. Wie verwandelt man Réaumur'sche Grade in solche nach Celsius und umgekehrt?

Digitized by Google

27. Wie verwandelt man Fahrenheit'sche Grade in Réaumur'sche?
28. Was sind Pyrometer?
29. Wodurch werden Luftströmungen erzeugt?
30. Wie ist die Luftheizung eingerichtet?
31. Wovon hängt die Stärke des Windes ab?
32. Nenne gefährliche Winde!
33. Welches sind die beständigen Winde?
34. Erkläre den Wechsel des See- und Landwindes!
35. Erkläre die Passatwinde!
36. Wie entstehen die Mousson?
37. Wie werden die gemäßigten Zonen hinsichtlich des Windes genannt?
38. Beschreibe das Sieden des Wassers!
39. Wie heiß kann Wasser in offenen Gefäßen gemacht werden?
40. Ist dies überall so? — Wo nicht?
41. Wie kann man das Thermometer zu Höhenmessungen benutzen?
42. Beschreibe den Pulshammer!
43. Wie kann man Wasser über + 80° R. erhitzen?
44. Was sind Sicherheits-Ventile?
45. Was sind Vacuum-Pfannen?
46. Warum kann man ohne Gefahr die feuchte Hand in geschmolzenes Eisen stecken?
47. Was versteht man unter Verdunstung?
48. Wodurch wird die Verdunstung befördert?
49. Warum wird bei der Verdunstung Kälte erzeugt?
50. Warum fröstelt man gewöhnlich, wenn man aus dem Bade steigt?
51. Warum zerschmilzt ein zinnerner Teller auf der heißen Ofenplatte, während man in einem offenen Gefäße von Zinn Wasser sieden kann?
52. Welches sind die wässerigen Lufterscheinungen (Wasser-Meteore)?
53. Hängt die Feuchtigkeit und Trockenheit der Luft von ihrem Gehalt an Wasserdunst allein (von ihrem absoluten Wassergehalt) ab?
54. Beschreibe das Psychrometer von August!
55. Was versteht man unter dem Thaupunkt?
56. Was sind Hygrometer? Beschreibe einige derselben!
57. Wie entsteht der Thau?
58. Warum thaut es bei bedecktem Himmel nicht?
59. Warum thaut es bei windigem Wetter wenig oder gar nicht?
60. Was ist der Reif?
61. Wie entsteht der Nebel?
62. Kommt der weiße Rauch, den wir über Flüssen zuweilen sehen, immer aus dem Wasser des Flusses?
63. Was sind Wolken?
64. Welches sind die Hauptformen der Wolken?

Digitized by Google

65. Wie entsteht der Regen?
66. Welche Namen führt der Regen nach der Größe seiner Tropfen?
67. Welche aber nach seiner Ausdehnung?
68. Welche Zone hat nur zwei Jahreszeiten, eine trockene und eine nasse?
69. Wie heißen verschiedene Arten des sogenannten Wunderregens, und wie ist der Vorgang bei demselben zu erklären?
70. Welche Grundform haben die Schneeflocken?
71. Warum wird es vor dem Schneien wärmer?
72. Was ist die Schneelinie?
73. Wie heißt der oberhalb derselben lagernde Schnee?
74. In welchen Jahreszeiten pflegt es zu graupen?
75. Was ist hinsichtlich des Hagels räthselhaft?
76. Wie kocht man mittelst des Wasserdampfes?
77. Wie kann man die Wasserdämpfe zum Trocknen feuchter Gegenstände verwenden?
78. Worin besteht das Decatiren des Tuches?
79. Wie heißt der Mann, dem wir die Dampfmaschine in ihrer vollkommenen Gestalt verdanken?
80. Wie hieß der Knabe, der die Steuerung erfand?
81. Wie hieß der Erfinder der Locomotive?
82. Wie nennt man die Dampfmaschinen, je nachdem sie mit oder ohne Condensator arbeiten?
83. Gieb in allgemeiner Weise an, wie der Dampf in einer Dampfmaschine thätig ist!
84. Wie heißt die Vorrichtung, mittelst deren der Dampf abwechselnd auf die beiden Seiten des Kolbens tritt?
85. Welches sind die drei Pumpen, die eine Watt'sche Dampfmaschine hat, und was leistet jede derselben?
86. Beschreibe, wie durch den Schwimmer der Zufluß des warmen Wassers in den Kessel regulirt wird!
87. Was sind Sicherheitsventile?
88. Wodurch wird der Gang einer stehenden Dampfmaschine regulirt?
89. Beschreibe das Watt'sche Parallelogramm, und sprich dich über seine Nothwendigkeit aus!
90. Was heißt: der Dampfdruck ist zwei Atmosphären gleich?
91. Gieb die Haupttheile einer Locomotive an!
92. Beschreibe die Steuerung bei derselben!
93. Wie wird das Vor- und Rückwärtsfahren der Locomotive bewirkt?
94. Wie drückt man die Leistungen des Dampfes in Pferdekräften aus?
95. Beschreibe ein Raddampfschiff!
96. Wie ist eine archimedische Schraube der Schraubendampfer construirt?
97. Wodurch wird Ericsson's calorische Maschine getrieben?

Digitized by Google

98. Wie verbreitet sich die Wärme?
99. Nenne gute und schlechte Wärmeleiter!
100. Wenn wendet man gute, wenn schlechte Wärmeleiter an?
101. Unter welchen Dächern ist es im Sommer am wärmsten, im Winter am kältesten?
102. Welches sind die Vor- und Nachtheile eines eisernen Ofens?
103. Wird ein Zimmer durch einen rauhen oder durch einen glasirten Ofen rascher erwärmt?
104. Welcher Ofen bleibt länger warm, der rauhe oder der glasirte?
105. Werden die Speisen in blanken oder in rußigen Metalltöpfen schneller gar?
106. Warum nützen Doppelfenster so viel?
107. Was nützt der Schnee den Saaten?
108. Warum hat das Plätteisen einen hölzernen Handgriff?
109. Worauf beruht das Verfahren bei der Wiederbelebung Erfrorener?
110. Warum empfinden wir so angenehme Kühlung, wenn wir uns mit einem Tuche fächeln?
111. Wie offenbart sich die strahlende Wärme?
112. Welcher Unterschied findet hinsichtlich der von der Sonne und der von einem irdischen Wärmequell ausgehenden strahlenden Wärme in Beziehung auf das Glas statt?
113. Ist ein dunkler, rauher, oder ein heller, glasirter Ofen ein besserer Wärmestrahler?
114. Warum lieben wir im Sommer helle, im Winter dagegen dunkle Kleidung?
115. Haben Spaliergewächse an einer weißen oder an einer dunklen Wand einen wärmeren Standort?
116. Wozu braucht man mehr Brenn-Material, um einen Topf kaltes Wasser oder um einen Topf voll Eisenfeilspäne bis auf + 20° zu erwärmen?
117. Was wird leichter warm, Leinöl oder Wasser?
118. Welchen Nutzen gewährt es im Haushalte der Natur, daß das Wasser eine so bedeutende Menge von Wärme zu verschlucken vermag?
119. Giebt es einen Wärmestoff?
120. Wie erklärt man die Entstehung der Wärme?

Digitized by Google

Dritte Abtheilung.

Der Magnetismus und die Electricität

Digitized by Google

Digitized by Google

Erster Abschnitt.

Der Magnetismus.

§ 162. Vorbemerkung.

Während wir bei unseren bisherigen Betrachtungen soviel als möglich von Erscheinungen des täglichen Lebens ausgingen und aus der Uebereinstimmung derselben auf das Vorhandensein eines Naturgesetzes schlossen, werden wir uns von jetzt an öfters genöthigt sehen, besondere Versuche (Experimente) anzustellen, da sich die Gelegenheit, die zu besprechenden Erscheinungen zufällig zu beobachten, nicht immer ohne Weiteres darbieten würde.

§ 163. Der Magnet zieht Eisen an und wird vom Eisen angezogen.

Jedem Kinde ist es bekannt, daß es gerade oder gekrümmte Eisenstäbe gibt, welche die Kraft besitzen, eiserne Gegenstände anzuziehen und festzuhalten, und daß solche Eisenstäbe Magnete genannt werden.

Viele Lehrer bedienen sich in ihren Schulzimmern eines solchen Magneten, um Stahlfedern, welche in die Dintenfässer gefallen sind und die Dinte verderben, wieder herauszuziehen. Allgemein bekannt sind verschiedene Spielwaaren, bei denen die magnetische Kraft thätig ist, z. B. Fische, Schwäne, Schiffe u. dgl., welche man auf einer Schüssel mit Wasser schwimmen läßt, und durch Annäherung eines Magneten herbeilocken kann, weil im Munde der Fische oder am Schnabel der Schwäne oder Schiffe ein Stückchen Eisen befestiget ist. So kann man jedes nicht zu

Digitized by Google

schwere Stückchen Eisen oder Stahl veranlassen, daß es sich an den Magnet anhängt, indem man ihm denselben je nach seiner Kraft mehr oder weniger nähert. Das Eisen bleibt an dem Magnet hängen, bis es wieder losgenommen wird oder in Folge einer Erschütterung abfällt. Daraus folgt:

Der Magnet zieht das Eisen an.

Zuweilen sind die besprochenen Spielwaaren so eingerichtet, daß die Fische ꝛc. statt eines Stückchens Eisen einen kleinen Magnet in sich haben: dann kann man sie mit einem gewöhnlichen Eisenstäbchen, z. B. mit einer Stricknadel oder mit einem Nagel, herbeiziehen. Legt man einen leichten Magneten, etwa eine (nach § 164) magnetisirte Nähnadel, auf ein Scheibchen Kork und läßt dies auf dem Wasser schwimmen, so nähert sie sich einem in einiger Entfernung gehaltenen eisernen Gegenstande, z. B. einer Messerklinge, einem Schlüssel u. dgl., bis sie daran haftet. Hieraus ergiebt sich:

Der Magnet wird vom Eisen angezogen.

Die Stärke der Magnete ist sehr verschieden, und sie hängt nicht von der Größe derselben ab. Ein Magnet, welcher zwei Pfund wiegt, trägt selten mehr als 20 Pfund, also das Zehnfache seines Gewichtes; dagegen hatte Newton einen nur drei Gran schweren Magneten, der ein Gewicht von 700 Gran zu tragen vermochte.

Ein kräftiger Magnet zieht nicht allein reines Eisen an, sondern alle eisenhaltigen Körper, z. B. Röthel, Bolus, Basalt. Auch die Metalle Nickel und Kobalt werden von ihm angezogen.

Die Wirkung des Magneten äußert sich nicht nur bei unmittelbarer Berührung mit dem Eisen, sondern schon aus größerer oder geringerer Entfernung, doch nimmt die Kraft mit zunehmender Entfernung dergestalt ab, daß ein zweimal so weit entfernter Magnet nur den vierten Theil so stark anzieht, ein dreimal so weit entfernter äußert nur $\frac{1}{9}$ der Anziehungskraft. Wir kommen hierbei auf ein Natu[illegible], welches ganz dem über die Schwere, über die Stär[illegible] des Lichtes (§ 91) und des Schalles (§ 79) entspricht:

Digitized by Google

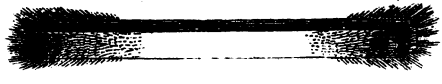
Die magnetische Kraft nimmt im Verhältniß des Quadrats der Entfernung ab.

Während ein Blatt Papier hinreicht, die Wirkung der Sonnenstrahlen von unserm Gesichte abzuhalten, während die von einem Feuer kommenden Wärmestrahlen nicht einmal eine Glasscheibe zu durchdringen vermögen, wirkt die magnetische Kraft auch durch Glas, Holz, Papier, Wasser u. dgl. Um sich davon zu überzeugen, streue man Eisenfeilspäne, wie man sie bei dem Schlosser erhält, auf ein Blatt Papier, auf eine Glasscheibe, auf ein Brettchen u. dgl. und fahre mit dem Magnet unterhalb desselben umher: die feinen Eisentheilchen folgen der Richtung desselben. Nur durch eine Eisenplatte vermag der Magnet nicht hindurchzuwirken. Wird aber ein schmales Eisenblech mit der Kante an denselben gehalten, oder hält man ein Federmesser mit seinem Rücken an den Magnet, so bemerkt man sogar eine Verstärkung seiner anziehenden Kraft.

Von der Anziehungskraft des Magneten wird in Nadelfabriken eine wichtige Anwendung gemacht, indem man den feinen der Gesundheit der Arbeiter äußerst nachtheiligen Feilstaub durch einen Magnet anziehen läßt.

§ 164. Die Polarität des Magnets.

Wälzt man einen Magnet in Eisenfeilspänen, so hängen sich dieselben an die beiden Endpunkte desselben am meisten an.



Legt man ein Kartenblatt oder eine Glastafel auf einen Magnet, und läßt, indem man das Blatt oder die Glastafel schwach anstößt, feine Eisenfeilspäne — am besten durch ein enges Sieb — auf dieselbe [illegible]llen, so ordnen sich dieselben in krumme Linien, welche von den Endpunkten des Magneten ausgehen.

Digitized by Google

Diese beiden Endpunkte des Magneten, welche eine stärkere Anziehungskraft zeigen, als seine übrigen Theile, heißen seine Pole. Zwischen ihnen befindet sich ein Punkt, welcher kein Eisen anzieht, und der Indifferenzpunkt (d. i. der unentschiedene Punkt) genannt wird.

Zu den weiteren Versuchen sind kleine bewegliche Magnete erforderlich. Solche kann man sich mit Leichtigkeit aus Nähnadeln oder Stücken von Stricknadeln herstellen, indem man dieselben mit einem Magnet bestreicht (magnetisirt). Dies geschieht auf folgende Weise. Man legt die Nadel auf den Tisch, und hält sie in der Mitte mit einem Finger fest. Nun macht man mit dem einen Pole des Magnets, indem man letzteren so neigt, daß er einen schiefen Winkel (von 10—20 Graden) mit der Nadel bildet, einen langsamen Strich von der Mitte derselben bis zu ihrem Ende. Hierauf kehrt man in einem durch die Luft gemachten Bogen zu der Mitte der Nadel zurück, setzt denselben Pol auf, und wiederholt den Strich. Nachdem die eine Hälfte der Nadel 20—30mal gestrichen ist, streicht man mit dem anderen Pole die andere Hälfte von der Mitte aus eben so oft. Das so eben beschriebene Verfahren heißt der einfache Strich. Derselbe kann ebensowohl mit einem Magnetstabe als mit einem Hufeisenmagnet vollführt werden. Noch besser thut man, wenn man zwei Magnete von ziemlich gleicher Stärke mit den ungleichnamigen Polen in der Mitte des zu magnetisirenden Stahlstabes aufsetzt, so daß sie unter spitzen Winkeln nach entgegengesetzten Seiten geneigt sind, dann gleichzeitig nach beiden Enden hinstreicht und dies mehrere Male wiederholt. — Eine andere Weise, einen Stahlstab zu magnetisiren, ist die mittelst des Doppelstriches. Man setzt beide Pole eines Hufeisenmagneten zugleich auf die Mitte des Stabes, führt den Strich nach einem Ende hin und ohne abzusetzen an das andere, von dort wieder zurück an das erste u. s. w., zuletzt aber hebt man den Magnet von der Mitte ab. Ein Magnet, der für den Doppelstrich geeignet sein soll, muß die Pole nahe beisammen haben; man kann statt des Hufeisenmagneten auch zwei parallel gehaltene Magnet-

Digitized by Google

stäbe nehmen. — Will man ein hufeisenförmiges Stück Stahl in einen Magnet verwandeln, so legt man es auf den Tisch, vor seine Füße aber ein Stück weiches Eisen. Beides wird mit Stiften befestigt, damit es sich nicht verschiebt. Hierauf streicht man mit einem eben so breiten, senkrecht gehaltenen Magnet etwa zehnmal von den Füßen nach der Krümmung oder von der Krümmung nach den Füßen hin, indem man stets in einem Bogen durch die Luft zurückkehrt.

Hat man nun mehrere Nähnadeln magnetisirt, so lege man eine derselben auf ein kleines Stückchen Kork oder bohre sie durch ein Stück von dem Stöpsel eines kleinen Arzneifläschchens und lasse sie mitten in einer geräumigen Schüssel auf dem Wasser schwimmen. Bald wird man wahrnehmen, daß die Magnetnadel eine ganz bestimmte Richtung annimmt, in welche sie wieder zurückkehrt, wenn man sie aus derselben bringt. Das eine Ende der Nadel ist nämlich stets nach Norden hin gerichtet (obschon nicht genau nach dem Nordpunkte), das andere nach Süden. Selbst wenn wir die Nadel im Halbkreise herumbewegen und somit die Lage ihrer Enden gewaltsam umkehren, so geht sie doch, sobald wir sie freilassen, in ihre vorige Richtung zurück.

Mithin offenbart der Magnet seine Polarität auf zweifache Weise:

Der Magnet besitzt an seinen Polen die stärkste Anziehungskraft, und eine Magnetnadel wendet, wenn sie frei beweglich ist, einen Pol nach Norden, den andern nach Süden.

Der Pol, welcher nach Norden zeigt, heißt der Nordpol, der andere der Südpol. (Daß diese Benennungen eigentlich umgekehrt sein sollten, darüber s. § 166, 6.)

Nähert man nun der auf dem Wasser schwimmenden Magnetnadel einen Magnet (oder eine andere Magnetnadel), so zeigt sich eine neue auffallende Erscheinung: der Nordpol der schwimmenden Nadel flieht nämlich vor dem ihm genäherten Nordpol des andern Magneten, der Südpol dagegen eilt auf denselben zu und wird von ihm angezogen. Ebenso flieht der Südpol der

Digitized by Google

Magnetnadel vor dem Südpole eines anderen Magneten, während er von dem Nordpole angezogen wird. Daraus folgt:

Die gleichnamigen Pole zweier Magnete stoßen einander ab, die ungleichnamigen ziehen einander an.

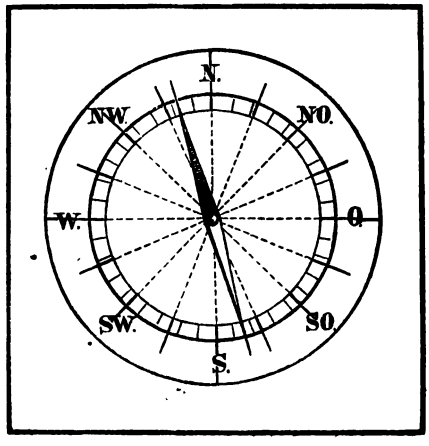
Man nennt daher die gleichnamigen Pole *feindliche*, die ungleichnamigen aber *freundschaftliche*.

Es giebt übrigens auch fehlerhafte Magnete, welche *mehr als zwei* Stellen mit stärkerer Anziehungskraft, sogenannte *Folgepunkte*, haben. Solche Folgepunkte entstehen unter Anderem an einem Eisenstabe, wenn er mit einem Hufeisenmagnete gestrichen wird, dessen Pole zu weit von einander abstehen.

Mittelst des Magneten kann man sogleich erfahren, ob eine Nadel u. dgl. magnetisch sei oder nicht. Wird sie von beiden Polen desselben überall angezogen, so ist sie unmagnetisch, offenbart sich aber eine Abstoßung durch den einen Pol, so ist sie selbst ein Magnet.

§ 165. Der Kompaß. Declination und Inclination.

Die Polarität der Magnetnadel macht sie geeignet, als **Kompaß** zu dienen, d. h. als ein Werkzeug, mittelst dessen man die Himmelsgegenden bestimmen kann. Man zeichnet auf ein Brettchen



Digitized by Google

eine sogenannte Windrose, d. h. einen Kreis, dessen Umfang man durch zwei sich rechtwinkelig schneidende Durchmesser in vier gleiche Theile theilt. Die Theilungspunkte bezeichnet man in richtiger Ordnung mit den vier Buchstaben N, O, S, W, um die vier Hauptthimmelsgegenden anzugeben. Nun halbirt man die vier Theile der Peripherie, und erhält dadurch vier neue Punkte, welche die vier Nebenhimmelsgegenden NO, SO, SW und NW angeben. Durch abermaliges Halbiren gelangt man zu den acht Zwischenhimmelsgegenden NNO, ONO, OSO, SSO, SSW, WSW, WNW, NNW. Halbirt man noch einmal, so erhält man 16 neue Punkte: N $^1/_4$ NO; NO $^1/_4$ N; NO $^1/_4$ O; O $^1/_4$ NO u. s. w. An der vollständigen Windrose sind demnach 32 Himmelsgegenden angegeben.

In den Mittelpunkt des Kreises schlägt man genau senkrecht einen Stahlstift, der nach oben eine sehr feine Spitze erhält, auf welcher eine Magnetnadel schweben soll. Man giebt der Nadel gewöhnlich eine Rautenform, und kann sie von jedem Uhrmacher aus einem Stücke einer Uhrfeder schneiden lassen und in bekannter Weise magnetisiren. In der Mitte muß sie ein kleines Hütchen von Messing (oder Achat) erhalten, mittelst dessen sie auf die Stahlspitze gesetzt wird. Nun bewegt man das Brett, auf welchem die Windrose gezeichnet ist, so, daß der Nordpol der Magnetnadel gerade 18° westlich von dem Nordpunkte der Windrose zeigt, und der Kompaß ist fertig.

Aus der letzten Bestimmung entnehmen wir, daß der Nordpol der Magnetnadel nicht genau nach Norden zeigt, sondern eine westliche Abweichung von 18° hat. Diese Abweichung heißt die Declination. Sie ist aber nicht an allen Orten der Erde gleich. Reisen wir von uns aus nach Westen, so nimmt sie zu, bis der Winkel 19—20° beträgt, dann aber nimmt sie allmählig ab, bis sie auf einer durch Nordamerika, den mexicanischen Meerbusen und Brasilien gehenden Linie = 0 ist. Dort zeigt mithin die Magnetnadel genau nach Norden. Kommt man noch weiter nach Westen, so weicht sie wieder ab, jetzt aber ist ihre Abweichung eine östliche. Auch auf dieser Seite wächst die

Digitized by Google

Declination, bis sie 19—20° beträgt, wird dann wieder kleiner und verschwindet auf einer durch Asien und den südlichen Ocean gehenden Linie, worauf wieder die westliche Abweichung eintritt. Die Linie, welche alle Punkte der Erde verbindet, auf denen die Magnetnadel keine Abweichung zeigt, heißt der magnetische Meridian.

Die Declination der Magnetnadel ist aber nicht bloß dem Orte, sondern auch der Zeit nach verschieden. Im 17. Jahrhundert z. B. durchschnitt der magnetische Meridian Europa, und ist seitdem immer nach Westen fortgerückt. Aber auch die Temperatur übt einen Einfluß auf die Abweichung der Nadel, so daß sie nicht in allen Jahres- und Tageszeiten sich unveränderlich gleich bleibt.

Eine andere merkwürdige Erscheinung zeigt die Magnetnadel, wenn man sie genau in dem Mittelpunkte ihrer Schwere aufhängt, was am besten mittelst eines Coconfadens oder mittelst einer in zwei Pfannen leicht beweglichen, genau durch ihren Schwerpunkt gehenden Axe geschieht. Statt daß sie nun, wie dies bei einer unmagnetischen Nadel der Fall ist, horizontal schweben sollte, senkt sich der Nordpol tief nieder, so daß die Nadel einen Winkel von 70 Graden gegen die wagrechte Linie bildet. Diese Senkung heißt die Inclination oder Neigung der Magnetnadel.

Hat man sich — wie oben angegeben wurde — eine Nadel aus einer Uhrfeder hergestellt, und das Hütchen genau in der Mitte angebracht, so daß die Nadel vor dem Magnetisiren wagrecht auf der Spitze spielt, so senkt sich, nachdem man sie magnetisirt hat, der Nordpol auf die Windrose nieder, und man muß entweder von vorn herein die Nordhälfte leichter arbeiten, oder, was vorzuziehen ist, die Südhälfte dadurch schwerer machen, daß man kleine Wachsklümpchen auf ihr befestiget.

Digitized by Google

Wie die Declination der Magnetnadel nicht an allen Orten der Erde gleich ist, so ist dies auch mit der Inclination der Fall. Je weiter wir von uns aus nach Norden reisen, desto tiefer sinkt der Nordpol der Nadel, bis sie endlich senkrecht steht. James Roß erreichte diesen Punkt 1831. Er fällt nicht mit dem Nordpol der Erde zusammen, sondern liegt unter 70° 5′ nördlicher Breite und 280° 54′ östlicher Länge. Man nennt ihn den magnetischen Nordpol der Erde.

Reisen wir von uns nach Süden, so wird der Neigungswinkel der Magnetnadel immer kleiner, bis sie endlich auf einem zwischen den Wendekreisen gelegenen Punkte genau wagrecht steht. Dieser Ort liegt demnach in dem magnetischen Aequator. Weiter nach Süden hin beginnt der Südpol der Nadel sich zu senken, sie hat also nun südliche Inclination, und es giebt tief im Süden der Erde einen noch von keinem Seefahrer völlig erreichten magnetischen Südpol, an welchem die Nadel wieder senkrecht, aber mit nach unten gerichtetem Südpol steht.

Auch die Inclination ändert sich im Laufe der Zeit, und die magnetischen Pole der Erde sind demnach nicht unverrückbare Punkte, sondern sie haben sich in den letzten Jahrhunderten von Osten nach Westen fortbewegt.

Man hat Karten, auf denen alle Punkte, welche gleiche Declination haben, durch Linien verbunden sind, die man die isogonischen Linien nennt; ebenso verbindet man die Punkte, an denen gleiche Inclination beobachtet wird, durch die isoklinischen Linien.

§ 166. Die Erregung des Magnetismus in Eisen und Stahl.

Wir haben § 164. gesehen, daß Stahlnadeln durch Streichen mit einem Magnet selbst zu Magneten werden, und den in ihnen erzeugten Magnetismus dauernd behalten. Das mit dem Nordpol gestrichene Ende der Nadel erhielt den Südpol, das mit dem Südpol gestrichene wurde zum Nordpol.

Anders verhält sich weiches Eisen (z. B. geglüheter Eisendrath) unter dem Einflusse eines Magneten. Zieht man z. B.

Digitized by Google

schwere Stückchen Eisen oder Stahl veranlassen, daß es sich an den Magnet anhängt, indem man ihm denselben je nach seiner Kraft mehr oder weniger nähert. Das Eisen bleibt an dem Magnet hängen, bis es wieder losgenommen wird oder in Folge einer Erschütterung abfällt. Daraus folgt:

Der Magnet zieht das Eisen an.

Zuweilen sind die besprochenen Spielwaaren so eingerichtet, daß die Fische ꝛc. statt eines Stückchens Eisen einen kleinen Magnet in sich haben: dann kann man sie mit einem gewöhnlichen Eisenstäbchen, z. B. mit einer Stricknadel oder mit einem Nagel, herbeiziehen. Legt man einen leichten Magneten, etwa eine (nach § 164) magnetisirte Nähnadel, auf ein Scheibchen Kork und läßt dies auf dem Wasser schwimmen, so nähert sie sich einem in einiger Entfernung gehaltenen eisernen Gegenstande, z. B. einer Messerklinge, einem Schlüssel u. dgl., bis sie daran haftet. Hieraus ergiebt sich:

Der Magnet wird vom Eisen angezogen.

Die Stärke der Magnete ist sehr verschieden, und sie hängt nicht von der Größe derselben ab. Ein Magnet, welcher zwei Pfund wiegt, trägt selten mehr als 20 Pfund, also das Zehnfache seines Gewichtes; dagegen hatte Newton einen nur drei Gran schweren Magneten, der ein Gewicht von 700 Gran zu tragen vermochte.

Ein kräftiger Magnet zieht nicht allein reines Eisen an, sondern alle eisenhaltigen Körper, z. B. Röthel, Bolus, Basalt. Auch die Metalle Nickel und Kobalt werden von ihm angezogen.

Die Wirkung des Magneten äußert sich nicht nur bei unmittelbarer Berührung mit dem Eisen, sondern schon aus größerer oder geringerer Entfernung, doch nimmt die Kraft mit zunehmender Entfernung dergestalt ab, daß ein zweimal so weit entfernter Magnet nur den vierten Theil so stark anzieht, ein dreimal so weit entfernter äußert nur $\frac{1}{9}$ der Anziehungskraft. Wir kommen hierbei auf ein Natu[illegible] welches ganz dem über die Schwere, über die Stä[illegible] des Lichtes (§ 91) und des Schalles (§ 79) entspricht:

Digitized by Google

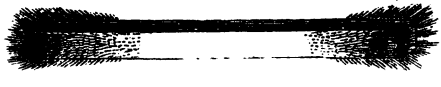
Die magnetische Kraft nimmt im Verhältniß des Quadrats der Entfernung ab.

Während ein Blatt Papier hinreicht, die Wirkung der Sonnenstrahlen von unserm Gesichte abzuhalten, während die von einem Feuer kommenden Wärmestrahlen nicht einmal eine Glasscheibe zu durchdringen vermögen, wirkt die magnetische Kraft auch durch Glas, Holz, Papier, Wasser u. dgl. Um sich davon zu überzeugen, streue man Eisenfeilspäne, wie man sie bei dem Schlosser erhält, auf ein Blatt Papier, auf eine Glasscheibe, auf ein Brettchen u. dgl. und fahre mit dem Magnet unterhalb desselben umher: die feinen Eisentheilchen folgen der Richtung desselben. Nur durch eine Eisenplatte vermag der Magnet nicht hindurchzuwirken. Wird aber ein schmales Eisenblech mit der Kante an denselben gehalten, oder hält man ein Federmesser mit seinem Rücken an den Magnet, so bemerkt man sogar eine Verstärkung seiner anziehenden Kraft.

Von der Anziehungskraft des Magneten wird in Nadelfabriken eine wichtige Anwendung gemacht, indem man den feinen der Gesundheit der Arbeiter äußerst nachtheiligen Feilstaub durch einen Magnet anziehen läßt.

§ 164. Die Polarität des Magnets.

Wälzt man einen Magnet in Eisenfeilspänen, so hängen sich dieselben an die beiden Endpunkte desselben am meisten an.



Legt man ein Kartenblatt oder eine Glastafel auf einen Magnet, und läßt, indem man das Blatt oder die Glastafel schwach anstößt, feine Eisenfeilspäne — am besten durch ein enges Sieb — auf dieselbe [illegible]llen, so ordnen sich dieselben in krumme Linien, welche von den Endpunkten des Magneten ausgehen.

Digitized by Google

Diese beiden Endpunkte des Magneten, welche eine stärkere Anziehungskraft zeigen, als seine übrigen Theile, heißen seine Pole. Zwischen ihnen befindet sich ein Punkt, welcher kein Eisen anzieht, und der Indifferenzpunkt (d. i. der unentschiedene Punkt) genannt wird.

Zu den weiteren Versuchen sind kleine bewegliche Magnete erforderlich. Solche kann man sich mit Leichtigkeit aus Nähnadeln oder Stücken von Stricknadeln herstellen, indem man dieselben mit einem Magnet bestreicht (magnetisirt). Dies geschieht auf folgende Weise. Man legt die Nadel auf den Tisch, und hält sie in der Mitte mit einem Finger fest. Nun macht man mit dem einen Pole des Magnets, indem man letzteren so neigt, daß er einen schiefen Winkel (von 10—20 Graden) mit der Nadel bildet, einen langsamen Strich von der Mitte derselben bis zu ihrem Ende. Hierauf kehrt man in einem durch die Luft gemachten Bogen zu der Mitte der Nadel zurück, setzt denselben Pol auf, und wiederholt den Strich. Nachdem die eine Hälfte der Nadel 20—30mal gestrichen ist, streicht man mit dem anderen Pole die andere Hälfte von der Mitte aus eben so oft. Das so eben beschriebene Verfahren heißt der einfache Strich. Derselbe kann ebensowohl mit einem Magnetstabe als mit einem Hufeisenmagnet vollführt werden. Noch besser thut man, wenn man zwei Magnete von ziemlich gleicher Stärke mit den ungleichnamigen Polen in der Mitte des zu magnetisirenden Stahlstabes aufsetzt, so daß sie unter spitzen Winkeln nach entgegengesetzten Seiten geneigt sind, dann gleichzeitig nach beiden Enden hinstreicht und dies mehrere Male wiederholt. — Eine andere Weise, einen Stahlstab zu magnetisiren, ist die mittelst des Doppelstriches. Man setzt beide Pole eines Hufeisenmagneten zugleich auf die Mitte des Stabes, führt den Strich nach einem Ende hin und ohne abzusetzen an das andere, von dort wieder zurück an das erste u. s. w., zuletzt aber hebt man den Magnet von der Mitte ab. Ein Magnet, der für den Doppelstrich geeignet sein soll, muß die Pole nahe beisammen haben; man kann statt des Hufeisenmagneten auch zwei parallel gehaltene Magnet-

Digitized by Google

stäbe nehmen. — Will man ein hufeisenförmiges Stück Stahl in einen Magnet verwandeln, so legt man es auf den Tisch, vor seine Füße aber ein Stück weiches Eisen. Beides wird mit Stiften befestigt, damit es sich nicht verschiebt. Hierauf streicht man mit einem eben so breiten, senkrecht gehaltenen Magnet etwa zehnmal von den Füßen nach der Krümmung oder von der Krümmung nach den Füßen hin, indem man stets in einem Bogen durch die Luft zurückkehrt.

Hat man nun mehrere Nähnadeln magnetisirt, so lege man eine derselben auf ein kleines Stückchen Kork oder bohre sie durch ein Stück von dem Stöpsel eines kleinen Arzneifläschchens und lasse sie mitten in einer geräumigen Schüssel auf dem Wasser schwimmen. Bald wird man wahrnehmen, daß die Magnetnadel eine ganz bestimmte Richtung annimmt, in welche sie wieder zurückkehrt, wenn man sie aus derselben bringt. Das eine Ende der Nadel ist nämlich stets nach Norden hin gerichtet (obschon nicht genau nach dem Nordpunkte), das andere nach Süden. Selbst wenn wir die Nadel im Halbkreise herumbewegen und somit die Lage ihrer Enden gewaltsam umkehren, so geht sie doch, sobald wir sie freilassen, in ihre vorige Richtung zurück.

Mithin offenbart der Magnet seine Polarität auf zweifache Weise:

Der Magnet besitzt an seinen Polen die stärkste Anziehungskraft, und eine Magnetnadel wendet, wenn sie frei beweglich ist, einen Pol nach Norden, den andern nach Süden.

Der Pol, welcher nach Norden zeigt, heißt der Nordpol, der andere der Südpol. (Daß diese Benennungen eigentlich umgekehrt sein sollten, darüber s. § 166, 6.)

Nähert man nun der auf dem Wasser schwimmenden Magnetnadel einen Magnet (oder eine andere Magnetnadel), so zeigt sich eine neue auffallende Erscheinung: der Nordpol der schwimmenden Nadel flieht nämlich vor dem ihm genäherten Nordpol des andern Magneten, der Südpol dagegen eilt auf denselben zu und wird von ihm angezogen. Ebenso flieht der Südpol der

Digitized by Google

Magnetnadel vor dem Südpole eines anderen Magneten, während er von dem Nordpole angezogen wird. Daraus folgt:

Die gleichnamigen Pole zweier Magnete stoßen einander ab, die ungleichnamigen ziehen einander an.

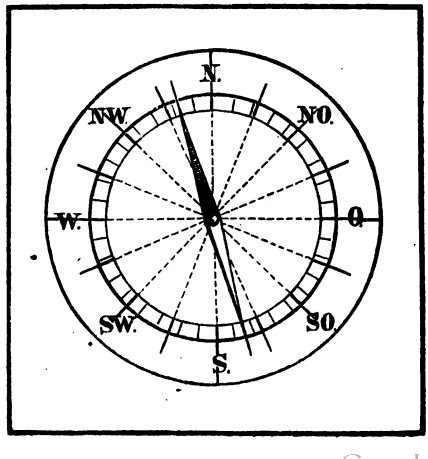
Man nennt daher die gleichnamigen Pole feindliche, die ungleichnamigen aber freundschaftliche.

Es giebt übrigens auch fehlerhafte Magnete, welche mehr als zwei Stellen mit stärkerer Anziehungskraft, sogenannte Folgepunkte, haben. Solche Folgepunkte entstehen unter Anderem an einem Eisenstabe, wenn er mit einem Hufeisenmagnete gestrichen wird, dessen Pole zu weit von einander abstehen.

Mittelst des Magneten kann man sogleich erfahren, ob eine Nadel u. dgl. magnetisch sei oder nicht. Wird sie von beiden Polen desselben überall angezogen, so ist sie unmagnetisch, offenbart sich aber eine Abstoßung durch den einen Pol, so ist sie selbst ein Magnet.

§ 165. Der Kompaß. Declination und Inclination.

Die Polarität der Magnetnadel macht sie geeignet, als Kompaß zu dienen, d. h. als ein Werkzeug, mittelst dessen man die Himmelsgegenden bestimmen kann. Man zeichnet auf ein Brettchen



Digitized by Google

eine sogenannte Windrose, d. h. einen Kreis, dessen Umfang man durch zwei sich rechtwinkelig schneidende Durchmesser in vier gleiche Theile theilt. Die Theilungspunkte bezeichnet man in richtiger Ordnung mit den vier Buchstaben N, O, S, W, um die vier Hauptthimmelsgegenden anzugeben. Nun halbirt man die vier Theile der Peripherie, und erhält dadurch vier neue Punkte, welche die vier Nebenhimmelsgegenden NO, SO, SW und NW angeben. Durch abermaliges Halbiren gelangt man zu den acht Zwischenhimmelsgegenden NNO, ONO, OSO, SSO, SSW, WSW, WNW, NNW. Halbirt man noch einmal, so erhält man 16 neue Punkte: N $^1/_4$ NO; NO $^1/_4$ N; NO $^1/_4$ O; O $^1/_4$ NO u. s. w. An der vollständigen Windrose sind demnach 32 Himmelsgegenden angegeben.

In den Mittelpunkt des Kreises schlägt man genau senkrecht einen Stahlstift, der nach oben eine sehr feine Spitze erhält, auf welcher eine Magnetnadel schweben soll. Man giebt der Nadel gewöhnlich eine Rautenform, und kann sie von jedem Uhrmacher aus einem Stücke einer Uhrfeder schneiden lassen und in bekannter Weise magnetisiren. In der Mitte muß sie ein kleines Hütchen von Messing (oder Achat) erhalten, mittelst dessen sie auf die Stahlspitze gesetzt wird. Nun bewegt man das Brett, auf welchem die Windrose gezeichnet ist, so, daß der Nordpol der Magnetnadel gerade 18 ^{0} westlich von dem Nordpunkte der Windrose zeigt, und der Kompaß ist fertig.

Aus der letzten Bestimmung entnehmen wir, daß der Nordpol der Magnetnadel nicht genau nach Norden zeigt, sondern eine westliche Abweichung von 18 ^{0} hat. Diese Abweichung heißt die Declination. Sie ist aber nicht an allen Orten der Erde gleich. Reisen wir von uns aus nach Westen, so nimmt sie zu, bis der Winkel 19—20 ^{0} beträgt, dann aber nimmt sie allmählig ab, bis sie auf einer durch Nordamerika, den mexicanischen Meerbusen und Brasilien gehenden Linie = 0 ist. Dort zeigt mithin die Magnetnadel genau nach Norden. Kommt man noch weiter nach Westen, so weicht sie wieder ab, jetzt aber ist ihre Abweichung eine östliche. Auch auf dieser Seite wächst die

Digitized by Google

Declination, bis sie 19—20° beträgt, wird dann wieder kleiner und verschwindet auf einer durch Asien und den südlichen Ocean gehenden Linie, worauf wieder die westliche Abweichung eintritt. Die Linie, welche alle Punkte der Erde verbindet, auf denen die Magnetnadel keine Abweichung zeigt, heißt der magnetische Meridian.

Die Declination der Magnetnadel ist aber nicht bloß dem Orte, sondern auch der Zeit nach verschieden. Im 17. Jahrhundert z. B. durchschnitt der magnetische Meridian Europa, und ist seitdem immer nach Westen fortgerückt. Aber auch die Temperatur übt einen Einfluß auf die Abweichung der Nadel, so daß sie nicht in allen Jahres- und Tageszeiten sich unveränderlich gleich bleibt.

Eine andere merkwürdige Erscheinung zeigt die Magnetnadel, wenn man sie genau in dem Mittelpunkte ihrer Schwere aufhängt, was am besten mittelst eines Coconfadens oder mittelst einer in zwei Pfannen leicht beweglichen, genau durch ihren Schwerpunkt gehenden Axe geschieht. Statt daß sie nun, wie dies bei einer unmagnetischen Nadel der Fall ist, horizontal schweben sollte, senkt sich der Nordpol tief nieder, so daß die Nadel einen Winkel von 70 Graden gegen die wagrechte Linie bildet. Diese Senkung heißt die Inclination oder Neigung der Magnetnadel.

Hat man sich — wie oben angegeben wurde — eine Nadel aus einer Uhrfeder hergestellt, und das Hütchen genau in der Mitte angebracht, so daß die Nadel vor dem Magnetisiren wagrecht auf der Spitze spielt, so senkt sich, nachdem man sie magnetisirt hat, der Nordpol auf die Windrose nieder, und man muß entweder von vorn herein die Nordhälfte leichter arbeiten, oder, was vorzuziehen ist, die Südhälfte dadurch schwerer machen, daß man kleine Wachsklümpchen auf ihr befestiget.

Digitized by Google

Wie die Declination der Magnetnadel nicht an allen Orten der Erde gleich ist, so ist dies auch mit der Inclination der Fall. Je weiter wir von uns aus nach Norden reisen, desto tiefer sinkt der Nordpol der Nadel, bis sie endlich senkrecht steht. James Roß erreichte diesen Punkt 1831. Er fällt nicht mit dem Nordpol der Erde zusammen, sondern liegt unter 70° 5′ nördlicher Breite und 280° 54′ östlicher Länge. Man nennt ihn den magnetischen Nordpol der Erde.

Reisen wir von uns nach Süden, so wird der Neigungswinkel der Magnetnadel immer kleiner, bis sie endlich auf einem zwischen den Wendekreisen gelegenen Punkte genau wagrecht steht. Dieser Ort liegt demnach in dem magnetischen Aequator. Weiter nach Süden hin beginnt der Südpol der Nadel sich zu senken, sie hat also nun südliche Inclination, und es giebt tief im Süden der Erde einen noch von keinem Seefahrer völlig erreichten magnetischen Südpol, an welchem die Nadel wieder senkrecht, aber mit nach unten gerichtetem Südpol steht.

Auch die Inclination ändert sich im Laufe der Zeit, und die magnetischen Pole der Erde sind demnach nicht unverrückbare Punkte, sondern sie haben sich in den letzten Jahrhunderten von Osten nach Westen fortbewegt.

Man hat Karten, auf denen alle Punkte, welche gleiche Declination haben, durch Linien verbunden sind, die man die isogonischen Linien nennt; ebenso verbindet man die Punkte, an denen gleiche Inclination beobachtet wird, durch die isoklinischen Linien.

§ 166. Die Erregung des Magnetismus in Eisen und Stahl.

Wir haben § 164. gesehen, daß Stahlnadeln durch Streichen mit einem Magnet selbst zu Magneten werden, und den in ihnen erzeugten Magnetismus dauernd behalten. Das mit dem Nordpol gestrichene Ende der Nadel erhielt den Südpol, das mit dem Südpol gestrichene wurde zum Nordpol.

Anders verhält sich weiches Eisen (z. B. geglüheter Eisendrath) unter dem Einflusse eines Magneten. Zieht man z. B.

Digitized by Google

ein Stückchen solchen Drathes mit dem Magnet an, so wird es sofort selbst zu einem Magnet, denn es hat nun die Kraft Eisenfeilspäne oder ein anderes unmagnetisches Drathstückchen anzuziehen. Wird es von dem Nordpol des Magnets angezogen, so wird das angezogene Ende zum Südpol, und das freie Ende ist ein Nordpol, wie man durch eine genäherte Magnetnadel erfährt. Mittelst eines kräftigen Magneten kann man eine ganze Reihe Drathstücken magnetisch machen, so daß immer eins am andern hängt. Aber das weiche Eisen behält seine magnetische Kraft nur so lange, als es dem Einflusse des Magneten ausgesetzt ist; entfernt man es von diesem, so ist es sogleich wieder unmagnetisch, und die an ihm hängenden Feilspäne oder Drathstückchen fallen ab.

Es ist übrigens nicht einmal nothwendig, daß das weiche Eisen von dem Magnet unmittelbar berührt werde; schon wenn man es in die Nähe desselben bringt, wird es magnetisch; entfernt man den Magnet, so verschwindet auch der Magnetismus des Eisens.

§ 167. Natürliche Magnete. Stärkung und Schwächung der magnetischen Kraft.

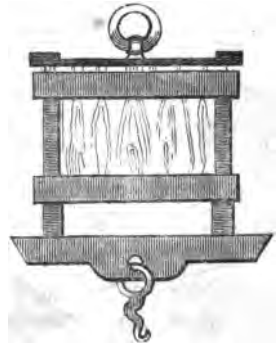
Wir sind bei unserer Betrachtung des Magnetismus von einem aus Stahl bestehenden stab- oder hufeisenförmigen Magnet ausgegangen, und haben auch erfahren, wie ein Stab oder ein Hufeisen von Stahl in einen Magnet verwandelt werden kann. Wie hat man aber zuerst jene Stahlmagnete hergestellt?

Man findet an vielen Orten der Erde ein grauschwärzliches Eisenerz, den Magneteisenstein, welches — jedoch erst wenn es aus seinem Lager herausgebrochen ist — alle besprochenen Eigenschaften des Magneten offenbart. Seinen Namen hat es von der kleinasiatischen Stadt Magnesia, bei der man es im Alterthum vorzüglich fand. Die Chemie lehrt uns, daß es aus Eisen und Sauerstoff besteht (es ist Eisenoxyduloxyd, gleich dem Hammerschlag in den Schmiedewerkstätten). Ein solches Stück

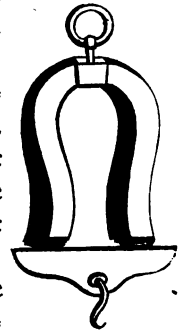
Digitized by Google

Magneteisenstein heißt ein natürlicher Magnet, während man die aus Eisen verfertigten Magnete künstliche nennt.

Einen natürlichen Magnet bewaffnet (armirt) man. Zunächst sucht man seine Polflächen auf, indem man ihn in Eisenfeilspänen wälzt; es sind bekanntlich diejenigen beiden Stellen, an denen sich die meisten Feilspäne anhängen. Nun feilt und schleift man die Polflächen eben, und legt dicht an dieselben ein mit zwei Füßen versehenes Stück weiches Eisen, wodurch die Tragkraft des Magneten bedeutend verstärkt wird. Auch an das entgegen gesetzte Ende kommt eine Eisenplatte mit einem Ringe zum Aufhängen. Die beiden Eisenplatten werden durch Messingdraht mit einander verbunden.



Erhalten und verstärkt wird die Kraft eines Magneten dadurch, daß er stets beschäftigt wird, d. h. daß er ein so großes Gewicht zu tragen bekommt, als er festzuhalten vermag. Man legt daher an die Füße eines natürlichen oder eines künstlichen Hufeisenmagneten einen Anker, d. h. ein Stück weiches Eisen, am besten ein walzenförmiges, damit es die Pole nur an wenigen Punkten berührt. Der Anker hat unten einen Haken, an welchen man ein Schälchen hängt, worein man täglich ein kleines Mehrgewicht, z. B. ein Schrotkörnchen, legt.



Läßt man dagegen den Magneten unbeschäftigt liegen, beschwert man ihn übermäßig, erschüttert man ihn heftig, reißt man den Anker plötzlich los, oder setzt man ihn der Glühhitze aus, so wird seine Kraft geschwächt. In der Weißglühhitze verliert er sie völlig.

Legt man mehrere hufeisen- oder stabförmige Magnete mit den gleichnamigen Polen auf ein-

Digitized by Google

ander und verbindet sie durch Schrauben, so erhält man ein magnetisches Magazin (untere Fig. S. 385), welches ungleich kräftiger wirkt, als jeder einzelne Magnet. Die einzelnen Magnete eines solchen Magazins heißen Lamellen.

§ 168. Das Wesen des Magnetismus.

Blicken wir nun auf die im Vorstehenden betrachteten magnetischen Erscheinungen zurück, so werden wir daraus folgern können:

1) Es giebt einen zwiefachen Magnetismus, den **Nord-** und den **Süd-Magnetismus.**
2) Wenn dieselben vereint sind, so nehmen wir keine magnetischen Erscheinungen wahr, denn sie binden sich gegenseitig. Dies kann man deutlich sehen, wenn man zwei gleich lange magnetisirte Stricknadeln dicht neben einander legt, so daß die ungleichnamigen Pole beisammen liegen: sie ziehen in dieser Verbindung kein Eisen mehr an.
3) Beide Magnetismen sind auch im unmagnetischen Eisen vorhanden, aber sie sind mit einander vereinigt, und binden sich gegenseitig.
4) Durch die Annäherung eines Magneten, so wie durch das Streichen mit demselben geschieht eine Trennung (Vertheilung) der beiden Magnetismen im Eisen, indem der genäherte oder zum Streichen benutzte Pol des Magneten den ungleichnamigen Magnetismus an sich zieht, den gleichnamigen aber abstößt.
5) In jedem noch so kleinen Theilchen (Atome) des Eisens sind beide Magnetismen vorhanden. Wird nun ein solches Eisentheilchen magnetisch, so trennen sich dieselben, so daß der Nordmagnetismus an das eine, der Südmagnetismus an das andere Ende tritt. Denken wir uns nun ein zweites Atom Eisen mit dem ersten verbunden, so wird der Südmagnetismus des ersten den Nordmagnetismus des zweiten an sich ziehen und binden, und

Digitized by Google

der Südmagnetismus des zweiten muß frei werden. So geht es fort.

1. Atom.	2. Atom.	3. Atom.	4. Atom.
N—S	N—S	N—S	N—S

Wir können daher von einem Magnet keineswegs den einen Pol losbrechen und den andern übrig behalten, sondern beide Magnetismen sind stets gleichzeitig vorhanden, und wenn wir eine Magnetnadel oder einen Magnetstab an irgend einer Stelle theilen, immer hat jedes Bruchstück beide Pole. Legt man die Stücken wieder zusammen, so bildet das Ganze wiederum einen einzigen Magnet.

6) Den Ursprung der magnetischen Erscheinungen müssen wir in dem Erdkörper suchen, der wie ein riesiger, aber mit Rücksicht auf seine Größe nur schwacher Magnet wirkt. Der magnetische Nordpol der Erde ist es, welcher auf der nördlichen Halbkugel der Erde die eine Spitze der Magnetnadel anzieht und die andere abstößt, indem er die beiden Magnetismen in der Nadel trennt, und den ihm ungleichartigen an sich heranströmen macht. Ebenso verhält sich der magnetische Südpol der Erde auf der südlichen Hemisphäre. Da nun die ungleichartigen Magnetismen sich anziehen, so sollten wir den Magnetismus in der dem Nordpol der Erde zugekehrten Spitze einer Magnetnadel nicht als Nord-, sondern als Südmagnetismus bezeichnen, und demnach den Nordpol der Magnetnadel Südpol nennen und umgekehrt.

Der magnetischen Vertheilungskraft der Erde müssen wir es auch zuschreiben, daß viele senkrecht stehende Eisenstäbe (z. B. bei vergitterten Fenstern, auch die meisten Kreuze auf Kirchen) magnetisch sind, so wie daß viele Geräthschaften in den Werkstätten der Eisenarbeiter durch den Gebrauch magnetisch werden. Ja ein Stab vom weichsten Eisen zeigt sich sofort magnetisch, sobald man ihn in der Richtung einer Inclinationsnadel, also bei uns fast senkrecht hält; sein abwärts gekehrtes Ende stößt den Nordpol einer leicht beweg-

Digitized by Google

lichen Magnetnadel ab. Kehrt man den Stab um, so zeigen sich auch die Magnetismen umgekehrt.

7) Das eigentliche Wesen des Magnetismus ist bis jetzt noch nicht enträthselt. Während ein Theil der Naturforscher die magnetischen Erscheinungen ganz auf Rechnung der — im folgenden Abschnitte zu besprechenden — Electricität stellt, nimmt ein anderer an, es gebe im Eisen zwei unwägbare (imponderable) Flüssigkeiten, den Nord- und Südmagnetismus. Den innigen Zusammenhang zwischen der Electricität und dem Magnetismus werden wir später kennen lernen; im Uebrigen müssen wir die weitere Erforschung des Magnetismus den Fachmännern anheimstellen und ihre Entdeckungen abwarten.

§ 169. Fragen und Aufgaben zur Wiederholung.

1. Was sind natürliche, was künstliche Magnete?
2. Welches sind die beiden gewöhnlichen Formen der künstlichen Magnete?
3. Wie magnetisirt man eine Stahlnadel durch den einfachen Strich?
4. Wie durch den Doppelstrich?
5. Wie magnetisirt man ein hufeisenförmiges Stück Stahl durch einen Hufeisenmagneten?
6. Wie wirkt der Magnet im Allgemeinen auf das Eisen?
7. Wie heißt das Gesetz über die Kraft des Magneten bei verschiedenen Entfernungen?
8. Durch welche Mittel wirkt die Anziehungskraft des Magneten hindurch, durch welches aber nicht?
9. Was versteht man unter den Polen des Magneten?
10. Wie erkennt man sie?
11. Was ist der Indifferenzpunkt?
12. Was sind Folgepunkte?
13. Wie verhalten sich die gleichnamigen Pole zweier Magnete hinsichtlich der Anziehung gegen einander, wie die ungleichnamigen?
14. Was bedeuten die Ausdrücke: freundschaftliche und feindschaftliche Pole?
15. Was ist die Windrose?
16. Was ist der Kompaß?
17. Was versteht man unter der Declination der Magnetnadel?
18. Was unter der Inclination?
19. Welche Erscheinungen zeigt die Magnetnadel an den magnetischen Polen der Erde?

Digitized by Google

20. Welche am magnetischen Aequator?
21. Was sind isogonische Linien?
22. Was isoklinische?
23. Welcher Unterschied findet zwischen weichem Eisen und Stahl bezüglich des Magnetismus statt?
24. Woher hat der Magnet seinen Namen?
25. Was ist die Armatur eines natürlichen Magneten?
26. Was ist der Anker eines Magneten und wozu dient er?
27. Wodurch wird die Kraft eines Magneten gestärkt?
28. Wodurch wird sie geschwächt?
29. Was sind magnetische Magazine?
30. Wie heißen die einzelnen Magnete eines Magazins?
31. Was geschieht, wenn die beiden Magnetismen sich vereinen?
32. Was geschieht, wenn sie getrennt werden?
33. Warum können wir einen Magnetstab nicht dergestalt theilen, daß an der einen Hälfte nur der Nord-, an der andern nur der Südmagnetismus sich offenbart?
34. Wie verhält sich der Erdkörper zu dem Magnetismus?
35. Inwiefern bezeichnen wir eigentlich die Pole der Magnetnadel falsch?

Zweiter Abschnitt.

Die Electricität.

I. Die Reibungs-Electricität.

§ 170. Die electrischen Haupterscheinungen.

Der Magnet zieht, wie wir wissen, Eisenfeilspäne an; dagegen äußert er keine bemerkliche Anziehungskraft gegen die meisten andern Körper, z. B. gegen Sandkörner, Papierschnitzelchen u. dgl.*

Reibt man dagegen eine Stange Siegellack oder eine reine, trockne Glasröhre (etwa einen Lampencylinder oder eine Eau-de-Cologne-Flasche) mit einem wollenen Lappen, so ziehen diese geriebenen Körper zwar auch Eisenfeilspäne, aber auch alle anderen leichten Gegenstände an, z. B. Papierschnitzel, Sandkörner,

* Eine Einwirkung des Magneten auf andere Körper ist allerdings vorhanden, doch ist sie nur mittelst der besten Instrumente wahrnehmbar.

Digitized by Google

kleine Korkkügelchen u. s. w. (Die Glasröhre erfordert ein weit länger fortgesetztes Reiben, als das Siegellack.)

Es äußert mithin eine Kraft ihre Wirkungen, welche in dem Siegellack und in dem Glase schlummert, durch Reiben aber in Thätigkeit gesetzt wird. Man nennt sie Electricität, weil der Bernstein, an welchem sie zuerst wahrgenommen wurde, griechisch electron heißt. Sie kann in allen Körpern durch Reibung erzeugt werden, doch nicht in einem jeden so leicht, als im Siegellack und im Glase. Sehr leicht sind die electrischen Erscheinungen in stark durchwärmtem Schreibpapier hervorzurufen, wenn man dasselbe mit Gummi elasticum reibt. Ein auf diese Weise behandeltes Blatt Papier zieht, sobald man es von dem Tische abhebt, alle leichten Körperchen kräftig an.

Wirft man das geriebene Blatt Papier an die Wand, so bleibt es an derselben hängen — es wird demnach nicht allein ein unelectrischer Körper von einem electrischen angezogen, sondern umgekehrt auch ein electrischer von einem unelectrischen.

Nähert man einem stark electrischen Körper, also einer kräftig mit Wolle geriebenen Siegellackstange oder Glasröhre oder einem mit Gummi elasticum geriebenen und von dem Tische abgehobenen Papierblatte den Knöchel eines Fingers oder einen Metallknopf, so springt ein Funke über, den man besonders im Dunkeln deutlich wahrnimmt. Man hört dabei ein knisterndes Geräusch, und, wenn man den Funken mittelst des Knöchels hervorlockte, empfindet man einen leisen Stich. Ein Funkensprühen gewahrt man, wenn man den Balg einer lebenden Katze, besonders einer schwarzen, im Finstern aufwärts streicht.

Führt man eine stark geriebene Stange Siegellack, eine electrisirte Glasröhre oder ein electrisch gemachtes Blatt Papier nahe über die äußere Handfläche oder über das Gesicht hinweg, so werden die kleinen Härchen der Haut angezogen, und man hat das Gefühl, als käme man mit diesen Theilen in ein Spinnengewebe.

Bei sehr stark electrisirten Körpern nimmt man einen Geruch nach Phosphor wahr, den man einem noch nicht

Digitized by Google

genügend erforschten luftartigen Stoffe, Ozon genannt, zuschreibt.

Aus dem Vorstehenden ergeben sich als electrische Haupterscheinungen:

1) **Ein electrischer Körper zieht unelectrische Körper an, und wird von diesen angezogen.**
2) **Ein electrischer Körper giebt Funken, wenn man ihm einen Knöchel der Hand oder einen Metallknopf nähert.**
3) **Der electrische Funke ist mit einem knisternden Geräusche verbunden.**
4) **Ein der Haut genäherter electrischer Körper verursacht ein Gefühl, als käme die Haut in ein Spinnengewebe.**
5) **Ein stark electrischer Körper verbreitet einen phosphorartigen Geruch.**

§ 171. Leiter und Nichtleiter der Electricität.

Haucht man eine geriebene Siegellackstange oder Glasröhre an, so ist jede Spur von Electricität augenblicklich verschwunden; feuchte Luft leitet dieselbe fort, sie ist ein Leiter der Electricität. Daher gelingen die meisten electrischen Versuche in feuchter Luft gar nicht; am besten stellt man sie an einem warmen, trocknen Sommertage oder im Winter in der Nähe des warmen Ofens an.

Fährt man mit der Hand über das geriebene Siegellack oder Glas, so verschwindet die Electricität ebenfalls; der menschliche Körper ist mithin ein guter Leiter derselben. Ebenso verliert das Siegellack und das Glas seine Electricität, wenn man mit einer Stricknadel, einem Messer oder einer Scheere die geriebenen Flächen streicht; Metalle sind vorzügliche Leiter.

Zur Untersuchung geringer Mengen von Electricität eignet sich vorzüglich ein Probirblättchen von sehr dünn geschlagenem Messing, sogenanntem Goldschaum, den man in Kauf-

Digitized by Google

läden zwischen zwei Papierblättchen erhält. Da er sich sehr leicht an die Finger hängt, so schneidet man das Umschlagspapier zugleich mit dem Goldschaum, und bereitet sich ein etwa zwei Zoll langes schmales Streifchen, welches man mit etwas Eiweiß an das Ende einer Stricknadel klebt. Nähert man dieses Probirblättchen einem auch nur schwach electrischen Körper, so wird es sofort angezogen.

Nun befestige man ein kleines Kügelchen von Kork oder trocknem Hollundermark oder auch ein kreisförmiges Papierscheibchen an einen etwa 8 Zoll langen leinenen Faden, ein zweites aber an einen Faden von Seide. Man fasse das freie Ende des leinenen Fadens mit der Hand, berühre den daran hängenden Körper mit einer geriebenen Siegellackstange: er wird von derselben nur angezogen, nicht abgestoßen, und zieht nach seiner Trennung von dem Siegellack das Goldschaumblättchen nicht an; mithin ist die Electricität durch den leinenen Faden fortgeleitet worden, ein leinener Faden ist also ein Leiter der Electricität, namentlich wenn man ihn anfeuchtet.

Jetzt berühre man das an dem Seidenfaden hängende Kügelchen oder Scheibchen mit geriebenem Siegellack: es wird angezogen und dann abgestoßen, und zieht nun das Goldschaumblättchen an; mithin hat die Seide die Electricität nicht fortgeleitet, sie ist ein Nichtleiter.

Wickelt man das Ende des leinenen Pendelfadens um eine Stange Siegellack oder eine trockne Glasröhre, theilt dem daran hängenden Körper Electricität mit und nähert das Goldblättchen, so wird es angezogen; die Electricität ist also durch das Siegellack und durch das Glas nicht fortgeströmt, beides sind Nichtleiter.

Ein **Nichtleiter** kann durch Reiben leicht electrisch gemacht werden, die geriebene Stelle aber theilt ihre Electricität benachbarten Stellen nicht mit, leitet sie also nicht weiter. Berührt man einen electrischen Nichtleiter mittelst eines Leiters (z. B. mit der Hand, mit Metall), so entzieht man nur

Digitized by Google

der berührten Stelle die Electricität, die benachbarten Stellen aber bleiben electrisch.

Berührt man dagegen irgend eine Stelle des am Siegellack oder Glase befestigten leinenen Fadens, also eines guten **Leiters**, mit einer geriebenen Siegellackstange, so zeigt sich sofort der ganze Faden electrisch; berührt man ihn dann an irgend einem Punkte mit dem Finger, so verliert der ganze Faden seine Electricität.

Ein Leiter kann die ihm mitgetheilte Electricität nur dann längere Zeit behalten, wenn er isolirt d. h. von Nichtleitern umgeben ist. Die Nichtleiter heißen daher auch Isolatoren. Die gewöhnlichste Art, einen Leiter zu isoliren, besteht darin, daß man ihn auf eine Unterlage von Glas oder Harz stellt, oder ihn an seidenen Fäden oder Schnüren aufhängt. Da sich aber am Glase sehr leicht die in der Luft enthaltenen Wasserdünste niederschlagen, wodurch es leitend wird, so überzieht man Glasstäbe, welche als Isolatoren dienen sollen, mit Schellackfirniß.

Eigentlich giebt es keine absolute Grenze zwischen Leitern und Nichtleitern, man kann nur bessere und schlechtere Leiter unterscheiden.

Die besten Nichtleiter sind: Glas, Harz, Siegellack, Bernstein, Schwefel, Seide, trockne Luft.

Die besten Leiter sind: Metalle, Kohle, der menschliche und thierische Körper, Wasser und alle wasserhaltigen Körper, daher feuchte Luft.

Halbleiter sind: Papier, Elfenbein, Marmor, Thon, Kreide, trocknes Holz.

§ 172. Positive und negative Electricität.

Hängt man ein electrisches Pendel am isolirenden Seidenfaden auf, und nähert eine geriebene Siegellackstange seiner Kugel, so wird dieselbe angezogen, haftet an dem Siegellack und wird dann abgestoßen, so daß sie vor dem Siegellack flieht, bis sie die empfangene Electricität an die Luft abgegeben hat, worauf

Digitized by Google

sich dieselben Vorgänge wiederholen. Ebenso verhält sich das Pendel gegen eine geriebene Glasröhre.

Nähert man dagegen, der mit der Electricität des Siegellacks begabten Kugel die geriebene Glasröhre, so wird sie von derselben angezogen. Wenn aber die Kugel zuerst mit der Glasröhre berührt wurde, so wird sie jetzt vom Siegellack angezogen.

Dieser Vorgang erinnert lebhaft an einen ähnlichen bei den magnetischen Erscheinungen, und ist in der That mit diesem ganz übereinstimmend. Wie es zweierlei Magnetismen giebt, den Nord- und Südmagnetismus, von denen sich die gleichnamigen abstoßen, die ungleichnamigen aber anziehen, so giebt es auch zweierlei Electricitäten, von denen ebenfalls die gleichnamigen sich abstoßen, die ungleichnamigen sich anziehen.

Da mit Wolle geriebenes Glas die eine dieser Electricitäten, mit Wolle geriebenes Harz (Siegellack) aber die andere zeigt, so unterschied man sie früher mit den Namen Glas- und Harz-Electricität. Als man aber fand, daß man sowohl im Glase als im Harze beide Arten erzeugen kann, je nachdem man das Reibzeug wählt, so gab man diese Namen auf, und man nennt jetzt die Electricität des mit Wolle geriebenen Glases die positive, die des mit Wolle geriebenen Harzes die negative Electricität. Jene bezeichnet man mit +, diese mit —. Es gilt also das Naturgesetz:

Gleichnamige Electricitäten stoßen sich ab; ungleichnamige ziehen sich an. Beide heben sich gegenseitig auf, wenn sie gleich stark sind.

Untersucht man das Reibzeug, mit welchem man einen Körper gerieben hat, so ergiebt sich, daß es ebenfalls electrisch geworden ist, und zwar hat es entgegengesetzte Electricität. Die Wolle z. B., mit der man Siegellack gerieben hat, ist positiv electrisch geworden, Wolle, mit der man Glas gerieben hat, negativ. Daraus folgt:

Bei der Erregung der Electricität durch Reibung wird sowohl der geriebene Körper als auch das Reibzeug electrisch, und zwar sind die entstandenen Electricitäten einander entgegen gesetzt.

Digitized by Google

Mittelst eines Pendels, dessen Electricität man kennt, kann man die Art der Electricität eines andern Körpers leicht bestimmen; findet Anziehung statt, so sind die Electricitäten ungleichnamig, findet Abstoßung statt, so sind sie gleichnamig; Sicherheit gewährt stets nur die Abstoßung.

Die Abstoßungserscheinungen kann man mittelst eines gespaltenen Papierstreifens recht gut zeigen. Reibt man ihn nach vorhergegangener Erwärmung mit Gummi elasticum, so stoßen sich die beiden Theile ab. Ebenso stoßen sich die Kugeln eines doppelten (d. h. an jedem Ende des Fadens mit einer Kugel versehenen) Pendels ab, wenn man beiden dieselbe Electricität mittheilt. Noch weit empfindlicher ist das Gold-Electrometer, welches man erhält, wenn man zwei schmale Streifchen Goldschaum mit Eiweiß an das untere Ende eines Drathes klebt. Der Drath wird zuvor durch einen Kork gesteckt, und da, wo er diesen berühren würde, mit Siegellack bekleidet; sein oberes Ende aber wird ringförmig umgebogen. Nun setzt man den Kork auf eine Flasche von weißem Glase, so daß die Goldblättchen in der Flasche hängen. Sobald man den Ring mit einem electrischen Körper berührt, stoßen die Blättchen einander ab. — Hält man ein Blatt electrisirten Papieres über Sandkörner oder Markkügelchen, welche auf dem Tische liegen, so steigen sie empor, empfangen Electricität, werden daher abgestoßen, geben ihre Electricität an den Tisch ab, und werden aufs neue angezogen.

§ 173. Die Vertheilung der Electricität.

Blicken wir wiederum auf die Erscheinungen des Magnetismus zurück, sie werden uns das Verständniß der electrischen Vorgänge wesentlich erleichtern. Wir erkannten, daß die beiden einander entgegen gesetzten Magnetismen jederzeit im Eisen vorhanden sind, aber so, daß der eine den andern bindet, weshalb keiner seine Wirkungen zu äußern vermag. Naht sich aber der

Digitized by Google

Pol eines Magneten dem Eisen, so zieht er den ungleichnamigen Magnetismus desselben an sich heran, und der gleichnamige wird abgestoßen: die beiden Magnetismen werden vertheilt. Sollte es sich nicht mit den beiden entgegen gesetzten Electricitäten ähnlich verhalten? Die Wahrscheinlichkeit spricht dafür, und Versuche bestätigen unsere Vermuthung.

Nähern wir eine geriebene Siegellackstange oder Glasröhre dem Ringe des Goldblatt-Electrometers, ohne ihn zu berühren, so gehen die Blättchen aus einander. Sie zeigen mithin Electricität, ohne daß ihnen dieselbe mitgetheilt worden ist; denn wenn man das Siegellack entfernt, fallen sie wieder zusammen. Durch die Nähe des electrischen Körpers wurden die bis dahin in gegenseitiger Bindung gewesenen Electricitäten des Draths und der Goldblättchen vertheilt; die der Electricität des genäherten Körpers entgegen gesetzte Electricität des Drathes und der Goldblättchen wurde angezogen, die gleichnamige aber abgestoßen, und sie ist es, welche die Goldblättchen aus einander treibt. Nähern wir also geriebenes Siegellack dem Electrometer, so zieht dies die positive Electricität des Electrometers an, und die abgestoßene negative wirkt auf die Goldblättchen; bei der Annäherung einer geriebenen Glasröhre erfolgt das Umgekehrte.

Man isolire einen Drath, indem man ihn mit Wachs auf eine hohe Bierflasche befestiget. An jedes seiner hakenförmig gebogenen und rund gefeilten oder mit einem Knöpfchen versehenen Enden hänge man ein Doppelpendel an Leinenfäden, die aber so fein sein müssen, daß sie von den Kugeln gespannt werden.

Nähert man nun dem einen Ende der Vorrichtung eine geriebene Siegellackstange, so gehen beide Pendel aus einander; beide Enden des Drathes zeigen also Electricität, und zwar ist die Electricität des dem Siegellack zugekehrten Pendels die ungleich-

Digitized by Google

namige, also positive, die des zweiten Pendels die gleichnamige, negative, wie man leicht erfahren kann, wenn man ein am Seidenfaden hängendes mit negativer Electricität begabtes Probependel nähert: es wird von dem vorderen Doppelpendel angezogen, von dem hinteren abgestoßen.

Entfernt man das Siegellack, so hört der vertheilende Einfluß desselben auf, die getrennten Electricitäten vereinigen sich, und die Pendel fallen zusammen, der Drath erscheint also unelectrisch.

Wiederholt man den vorigen Versuch, berührt aber, sobald die Pendel aus einander gehen, das dem Siegellack abgekehrte mit dem Finger, so leitet man die dort angehäufte negative Electricität ab, und das hintere Pendel fällt zusammen. Entfernt man nun erst den Finger, dann das Siegellack, so gehen die Kugeln wieder aus einander, und zwar sind jetzt, wie ein Probependel nachweiset, beide Pendel positiv electrisch.

Daß, wenn man statt des Siegellacks eine geriebene Glasröhre anwendet, die Erscheinungen entgegen gesetzt sind, bedarf keiner Auseinandersetzung; der Drath wird vorn —, hinten +; nach Entfernung der positiven Electricität und der Glasröhre ist er ganz —.

Aus diesen Versuchen erklären sich nun auch die Vorgänge bei der Erregung von Electricität durch Reibung. Diese bewirkt eine Vertheilung (Trennung) der verbundenen Electricitäten. Die ungleichnamigen Electricitäten des geriebenen Körpers und des Reibzeugs ziehen sich an und heben sich gegenseitig auf (neutralisiren sich), die frei gewordenen aber nehmen wir wahr.

Es verbinden sich z. B. wenn man Siegellack mit Wolle reibt die — E. der Wolle und die + E. des Siegellacks; es werden frei:

die + E. der Wolle und die — E. des Siegellacks.

Bei einer mit Wolle geriebenen Glasröhre verbinden sich: die + E. der Wolle und die — E. des Glases, es werden frei: die — E. der Wolle und die + E. des Glases.

Digitized by Google

Ebenso ist durch das Gesetz der Vertheilung das Anziehen und Abstoßen erklärlich.

1) der electrische Körper bewirkt in dem unelectrischen eine Vertheilung seiner gebundenen Electricitäten;
2) die ungleichnamigen Electricitäten ziehen sich nunmehr an;
3) dadurch erfolgt Berührung und völlige Mittheilung;
4) die nunmehr gleichnamigen Electricitäten stoßen sich ab.

Z. B. geriebenes Siegellack (—) trennt in einem unelectrischen Pendel + und —.

Siegellack (—) zieht + an;

die — E. des Siegellacks und die + E. des angezogenen Körpers neutralisiren sich;

die — E. des angezogenen Körpers wird frei;

die — E. des Siegellacks und die — E. des angezogenen Körpers stoßen sich ab.

Ganz eben so war der Vorgang bei den Anziehungs- und Abstoßungs-Erscheinungen des Magnetismus.

Wenn die beiden entgegengesetzten Electricitäten, welche einander anziehen und nach Vereinigung streben, durch einen Zwischenraum getrennt sind, so erfolgt ihre Vereinigung unter einer Lichterscheinung, und wir nehmen einen electrischen Funken wahr.

Fassen wir nun Alles, was uns in den letzten §§ vorgeführt wurde, in kurze Sätze zusammen, so haben wir folgende Ergebnisse erlangt:

Es giebt zwei einander entgegengesetzte Electricitäten, + und —.

Sie sind in jedem Körper vorhanden, binden aber einander gegenseitig, so daß der Körper keine electrischen Erscheinungen offenbaren kann.

Durch die Nähe eines electrischen Körpers werden sie getrennt.

Die Electricität des electrischen Körpers zieht die ungleichnamige Electricität des unelectrischen an, und strebt nach Vereinigung mit derselben.

Digitized by Google

Erfolgt diese Vereinigung mit Durchspringung eines Zwischenraums, so erscheint ein electrischer Funke. Erfolgt sie durch Berührung, so binden sich die entgegen gesetzten Electricitäten, und der berührte bis dahin unelectrisch gewesene Körper zeigt die Electricität des electrischen Körpers, von welchem er berührt wurde.

§ 174. Der auf dem Gesetze der Vertheilung beruhende Electrophor.

Zu vielen electrischen Versuchen ist ein Harzkuchen besonders geeignet. Man stellt denselben dar, indem man in einem Tiegel eine Mischung von 10 Theilen Gummilack, 3 Theilen Harz, 2 Theilen venetianischem Terpentin, 2 Theilen Wachs und $^1/_2$ Theil Pech schmelzt und die geschmolzene Masse auf eine Blechscheibe (Form) mit erhöhtem Rande gießt. Während des Erkaltens und Erstarrens der Harzmasse bewege man ein glühendes Plätteisen in der Luft so nahe als möglich über derselben hin und her. Die etwa dennoch entstehenden Blasen schneidet man hinweg.

Nun muß der Harzkuchen einen Deckel erhalten, und zwar wählt man dazu am besten ein nicht zu dünnes, kreisförmig geschnittenes Brett, dessen Durchmesser 1—2 Zoll kleiner ist, als der des Harzkuchens. Man läßt die Kanten des Brettes sorgfältig abrunden, überzieht es ganz und gar mit Stanniol, und befestigt drei nicht zu kurze Schnüre von reiner Seide daran, damit man es an diesen wagrecht in die Höhe heben kann. Im Nothfalle genügt auch ein Deckel von starker Pappe, die man mit Silberpapier beklebt, doch müssen auch hierbei die Kanten abgerundet sein, weil von scharfen Kanten die Electricität sehr leicht abströmt.

Will man nun den Harzkuchen electrisch machen, so entfernt man den Deckel, und peitscht die Harzmasse mit einem Katzenbalge oder Fuchsschwanze oder man reibt ihn mit Wolle.

Digitized by Google

Setzt man nun den Deckel auf den Kuchen, so erhält in Folge der Vertheilung:

die gepeitschte Oberfläche des Kuchens . — E,
die Unterfläche desselben . . . . + E,
die Oberfläche der Blechform . . . — E,
die Unterfläche derselben . . . . + E;

ferner: die Unterfläche des Deckels . . . + E,
die Oberfläche desselben . . . . — E;

mithin haben die Oberflächen des Deckels, des Kuchens und der Form . . . . . — E,
die Unterflächen aller drei Theile . . + E.

Es binden sich aber gegenseitig:

die + E. der Unterfläche des Deckels und die — E. der Oberfläche des Kuchens;
die + E. der Unterfläche des Kuchens und die — E. der Oberfläche der Form;
die + E. der Unterfläche der Form und die — E. der Erde;

mithin ist nichts frei als die — E. der Oberfläche des Deckels.

Hebt man den Deckel an den isolirenden Schnüren auf, so erscheint er unelectrisch, denn seine bisher durch die — E. der Oberfläche des Kuchens gebunden gewesene + E. vereinigt sich sofort mit der — E. der Oberfläche des Deckels.

Legt man den Deckel wieder auf den Kuchen, und nähert ihm einen Leiter (einen Knöchel der Hand oder einen Drath), so erhält man einen schwachen Funken von — E. Hebt man nun mehr den Deckel auf, so verbreitet sich die noch allein in ihm befindliche + E. über seine ganze Oberfläche, und springt der genäherten Leiter als kräftiger Funke entgegen.

Isolirt man die Form, indem man sie auf Glasfüße, z. B. auf ein Paar umgekehrte Biergläser stellt, so wird die an ihrer Unterfläche angehäufte + E. nicht durch die — E. des Erdbodens gebunden, ist also frei. Berührt man nun gleichzeitig die Unterseite der Form und die Oberseite des Deckels mit zwei Fingern derselben Hand, so fühlt man eine leichte Erschütterung,

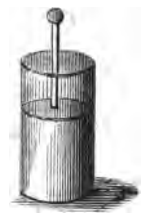
Digitized by Google

indem sich die + E. der Unterfläche der Form mit der — E. der Oberfläche des Deckels verbindet. Nähert man der Form allein einen Knöchel, so erhält man einen Funken.

Läßt man den Deckel auf dem electrisirten Kuchen liegen, so erhält man noch nach mehreren Tagen, ja Wochen und Monaten Funken, denn zwischen zwei breiten Flächen, von denen eine leitend, die andere nichtleitend ist, findet keine merkliche Mittheilung statt. Daher heißt der Harzkuchen mit Recht Electrophor, d. h. Electricitätsträger.

§ 175. Die verstärkte Electricität.

Eine gewöhnliche Bierflasche werde außen und am Boden mit Stanniol oder Silberpapier beklebt, so daß der Hals und etwa 1—2 Zoll des oberen weiten Theiles frei bleiben. Bis zu gleicher Höhe fülle man sie mit Eisenfeilspänen, setze einen durchbohrten Kork auf, und stecke einen Drath senkrecht hindurch, daß er in die Feilspäne hinabreicht. An sein oberes, einige Zoll über den Kork vorragendes Ende löthe man eine zinnerne Kugel. Statt einer Flasche kann man auch ein Bierglas anwenden (s. Figur), dasselbe außen und innen mit Ausnahme des oberen Randes mit Stanniol oder Silberpapier bekleben, und den oben mit einer Kugel versehenen Drath durch eine im Mittelpunkte durchbohrte kreisförmige, an die inneren Wände, da wo die Belegung aufhört, anschließende Pappscheibe bis auf den mit Stanniol beklebten Boden hinabreichen lassen.



Nun fasse man die äußere Belegung mit der linken Hand, und nähere der Kugel den (zuvor durch Berührung von seiner — E. befreiten) Deckel des Electrophors: es springt ein Funke über. Nachdem man dies 50—100 mal wiederholt hat, nähere man, während die linke Hand noch die äußere Belegung umfaßt, der Kugel einen Knöchel der rechten Hand: es erfolgt ein starker Funke und man fühlt einen erschütternden Schlag.

Digitized by Google

Der Vorgang bei dieſer Verſtärkungsflaſche, welche auch die Kleiſt'ſche oder Leidner Flaſche heißt, beruht wieder auf der Vertheilung und auf der Vereinigung freier entgegen geſetzter Electricitäten. Durch die Berührung der Kugel mit dem Deckel des Electrophor's wird dem Innern der Flaſche + E. mitgetheilt. Dieſe zieht die — E. der äußeren Belegung herbei, und die abgeſtoßene + E. derſelben entweicht durch den menſchlichen Körper in den Erdboden, ſo daß ſich auf der äußeren Belegung nur — E befindet. Indem nun dem Innern der Flaſche aufs Neue + E. mitgetheilt wird, vergrößert ſich die Spannung der beiden nach Vereinigung trachtenden, durch die Glaswand aber an derſelben verhinderten Electricitäten. Berührt man aber, nachdem durch wiederholte Mittheilung von + E. das Streben nach Vereinigung immer heftiger geworden iſt, mit dem Knöchel der einen Hand die Kugel, während die andere Hand die äußere Belegung umfaßt, ſo wird den beiden Electricitäten in dem menſchlichen Körper ein Weg dargeboten, auf welchem ſie zu einander gelangen können, und ihre Vereinigung erfolgt unter mehr oder minder heftiger Erſchütterung deſſelben. Nachdem der Entladungsſchlag ſtattgefunden hat, erhält man bei abermaliger Berührung noch einen ſchwachen Schlag, indem die in größerem Maaße vorhanden geweſene + E. bei dem erſten Schlage nicht ganz verbraucht wurde, ſo daß der Ueberreſt eine abermalige — doch geringe — Spannung mit der — E. der äußeren Belegung erzeugte.

Faſſen ſich mehrere Perſonen bei den Händen, und der erſte in der Reihe nähert ſeinen Knöchel der Kugel der geladenen Flaſche, während der letzte die äußere Belegung umfaßt, ſo erhalten Alle den Schlag, doch die mittleren ſchwächer. Daſſelbe geſchieht, wenn ſich die Perſonen nicht mit den Händen, ſondern mit den Füßen berühren. Geht jedoch von dem Fuße der einen Perſon ein langer Metallſtreif aus, ſo bleiben die folgenden Perſonen gewöhnlich unangetaſtet, denn die Electricität folgt in der Regel dem beſten Leiter.

Daher kann man mittelſt eines gebogenen Drathes, der an

Digitized by Google

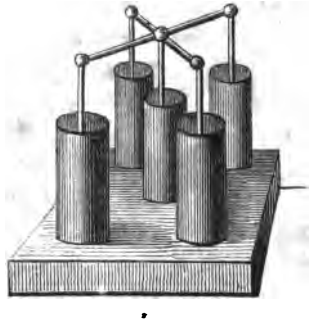
jedem Ende eine Metallkugel hat, die Flasche entladen, ohne selbst den Schlag zu fühlen, indem man die eine Kugel der äußeren Belegung der Flasche, die andere dem Knopfe derselben nähert. Eine solche Vorrichtung heißt ein Auslader. Da zuweilen dennoch der Schlag durch den Körper geht, so versieht man den Auslader oft mit isolirenden Handgriffen.

Man kann übrigens die Flasche auch allmählig entladen, indem man abwechselnd ihre Kugel und ihre äußere Belegung mit dem Auslader berührt.

Ist die Flasche übermäßig geladen, so erfolgt die Vereinigung der beiden Electricitäten zuweilen durch das Glas hindurch, wobei dasselbe zertrümmert wird.

Eine isolirte, etwa auf einem umgekehrten Trinkglase stehende Verstärkungsflasche kann nicht geladen werden, weil die + E. von ihrer Außenfläche nicht abzuströmen vermag.

Man kann mehrere Flaschen zu einer electrischen Batterie vereinigen, indem man sie auf eine Unterlage von Metall stellt, wodurch die äußeren Belegungen zu einer zusammenhängenden Metallmasse verbunden werden, während man die Knöpfe der Flaschen mit einer Kette umschlingt oder durch Dräthe verbindet. Behufs der besseren Ableitung der + E. von den äußeren Belegungen kann man eine Kette von der Metall-Unterlage auf den Erdboden herabhängen lassen. Bei der electrischen Batterie laden sich alle Flaschen zugleich, doch theilt man ihr die + E. gewöhnlich nicht bloß durch den Deckel des Electrophors mit, sondern mittelst der weiter unten zu besprechenden Electrisirmaschine.



Digitized by Google

Der Erschütterungsschlag einer starken Batterie kann für den Menschen gefährlich werden; kleine Thiere werden durch denselben getödtet, nur den Raupen schadet er nichts.

Interessante Versuche, die man mit einer Verstärkungsflasche oder noch besser mit einer Batterie anstellen kann, sind folgende:

Man gießt Aether oder erwärmten Spiritus in einen silbernen oder Blechlöffel, dessen Stiel man mittelst eines Kettchens mit der äußeren Belegung verbunden hat. Nähert man nun den Löffel der Kugel der Flasche von unten (am besten gelingt es bei einer niederwärts gebogenen Kugel), so schlägt der Funke aus der Kugel in den Löffel, und entzündet bei seinem Durchgange die Flüssigkeit.

Legt man auf die Kugel der geladenen Flasche ein Kartenblatt, und bringt den einen Knopf des Ausladers mit der äußeren Belegung in Verbindung, so schlägt, wenn man den andern Knopf der Kugel oberhalb des Kartenblattes nähert, der überspringende Funke ein feines Loch durch dasselbe, welches auf beiden Seiten aufgeworfene Ränder hat, weil jede der beiden sich vereinigenden Electricitäten das Blatt durchschlägt. Mittelst einer Batterie kann man auf diese Weise ein ganzes Spiel Karten durchschlagen, Glas und Holz zertrümmern, Metalldräthe schmelzen u. s. w.

Man baue ein Häuschen von Pappe oder Holz, bekleide den Fußboden desselben mit Stanniol, und verbinde dieses mit der äußeren Belegung der Flasche oder Batterie; in das Dach stecke man einen Drath, der an jedem Ende einen Messingknopf hat, so daß sein oberes Ende hervorragt, während das untere Knöpfchen nur wenig von dem Stanniol entfernt ist. Unterhalb dieses Knöpfchens lege man auf das Stanniol leicht entzündliche Sachen, z. B. Baumwolle, pulverisirtes Colophonium u. dgl. Nähert man nun die Kugel der Verstärkungsflasche dem über das Dach des Häuschens vorstehenden Metallknopfe, so schlägt der Funke in diesen über, fährt am Drathe hinab, und springt, weil die Leitung unterbrochen ist, auf das Stanniol über, indem er die Brennstoffe entzündet.

Digitized by Google

Bilden mehrere Personen einen Halbkreis, ohne einander zu berühren, doch so, daß nur sehr kleine Zwischenräume zwischen ihnen bleiben, so erhalten, wenn der eine Flügelmann die äußere Belegung umfaßt, der andere aber den Knöchel der Kugel nähert, Alle den Erschütterungsschlag, und die Electricität springt in jedem Zwischenraum als Funke über.

Selbst über einen Fluß vermag man die electrische Wirkung fortzuführen. Man verbindet mit der äußeren Belegung einer starken Batterie einen Drath, den man auf eingerammten Pfählen über das Wasser leitet. Von einer jenseits stehenden, einander mit den Händen fassenden Reihe von Personen faßt der eine Flügelmann den Drath, der andere taucht eine Degenklinge ins Wasser. Die diesseits befindlichen Personen bilden ebenfalls eine Reihe, und der eine Flügelmann taucht auch eine Degenklinge in den Fluß. Berührt nun der andere Flügelmann die Kugel, so erhalten alle auf beiden Ufern befindlichen Personen den erschütternden Schlag.

Die Erschütterung erfolgt bei Allen gleichzeitig, denn der electrische Strom besitzt eine außerordentliche Geschwindigkeit; durch sorgfältige Versuche hat man gefunden, daß er in einer Secunde mehr als 60000 deutsche Meilen durchläuft, so daß bei allen irdischen Entfernungen seine Wirkung eine augenblickliche ist.

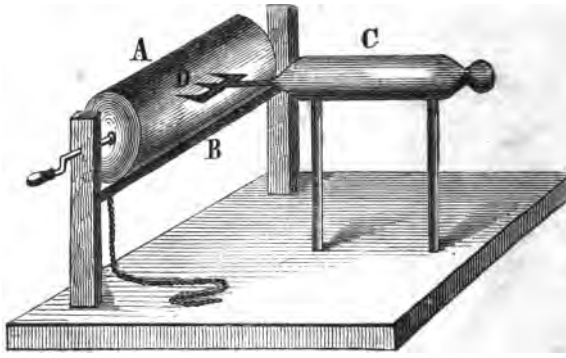
§ 176. Die Electrisirmaschine.

Zur Erzeugung kräftiger Wirkungen der Electricität dient die Electrisirmaschine (Fig. auf S. 406). Dieselbe besteht aus vier Theilen.

1) Der zu reibende Körper (häufig der Reiber genannt) ist eine wagrecht liegende Walze von Glas A, durch welche eine Axe geht. Die Enden der letzteren ruhen in den Zapfenlagern zweier Säulen. Mittelst einer Kurbel wird der Glascylinder gedreht.

2) Das Reibzeug, ein mit Haaren ausgestopftes Lederkissen B, welches auf einer metallischen Unterlage (Stanniol,

Digitized by Google



Silberpapier) ruht, mittelst einer Metallfeder an den Glascylinder gedrückt wird, und durch eine herabhängende Metallkette (ein Messingkettchen von einem Uhrgewicht) mit der Erde leitend verbunden ist. Die dem Cylinder zugekehrte Seite des Reibzeugs wird mit einer pulverförmigen Metallmischung aus 1 Theil Zinn, 1 Theil Zink und 2 Theilen Queckſilber (dem Kienmayer'ſchen Amalgam) eingerieben.

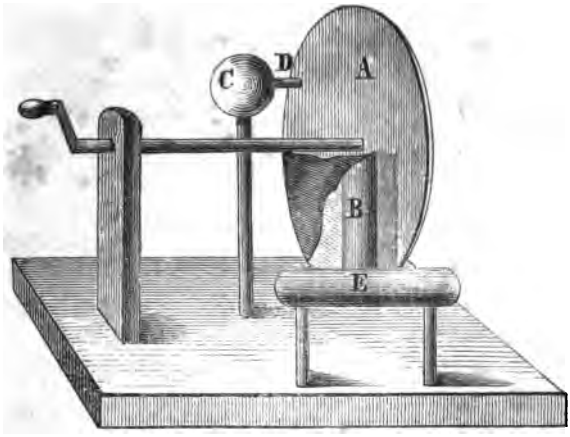
An dem Kiſſen befeſtigt man ein Stück Seidenzeug oder Wachstaffent, welches ſich bei dem Drehen des Cylinders an dieſen legt und das Abſtrömen der Electricität verhindert.

3) Der Conductor oder erſte Leiter, ein auf 15 bis 20 Zoll hohen Glasfüßen ruhender hohler Cylinder von Metall, oder ein mit Stanniol überzogener maſſiver Holzcylinder C, der mit der Mitte des Glascylinders einen rechten Winkel bildet und in einiger Entfernung von demſelben ſteht. Sein von dem Glascylinder abgewendetes Ende bildet einen kugelförmigen Knopf.

4) Der Zuleiter, ein metallner Rechen D, der die Electricität von dem Glascylinder aufnimmt, und ſie dem Conductor zuführt.

Statt des Glascylinders gebraucht man gegenwärtig lieber eine große Glasſcheibe, welche ſenkrecht ſteht. Der Conductor hat bei ſolchen Scheibenmaſchinen gewöhnlich Kugelform. Statt des Rechens erhält er zwei Metalldräthe, von denen der

Digitized by Google



eine diesseit, der andere jenseit der Scheibe seine Spitze zukehrt. — Da, wenn der Reiber + electrisch wird, das Reibzeug — E. zeigt, so haben gut eingerichtete Maschinen noch einen zweiten Conductor (E), welcher die — E. des Reibzeugs aufnimmt.

Die Wirksamkeit der Electrisirmaschine hängt von der Größe der geriebenen Fläche, von der Anzahl der Umdrehungen, von der Wärme des Reibers und Reibzeuges und von der Witterung ab. Am kräftigsten sind die electrischen Erscheinungen, wenn sie bei trockner, warmer Luft, also an heiteren Sommertagen in den Mittagsstunden, oder an kalten, hellen Wintertagen am warmen Ofen angestellt werden. Vor dem Gebrauche reibt man alles Glas mit trockenen, warmen, wollenen Lappen, weil sich an demselben sehr leicht leitender Wasserdampf absetzt.

Mit einer solchen Electrisirmaschine lassen sich außer vielen anderen vorzüglich folgende Versuche anstellen.

A. Anziehen und Abstoßen.

1) Das Kügelchen eines einfachen electrischen Pendels am Seidenfaden wird von dem Conductor angezogen und sofort abgestoßen; es fliegt aber demselben augenblicklich aufs Neue zu, wenn ihm durch Berührung mit der Hand oder einem andern Leiter seine Electricität entzogen wird.

Digitized by Google

2) Das Kügelchen eines einfachen Pendels am Leinenfaden wird von dem Conductor angezogen und bleibt an ihm hängen, da die empfangene Electricität sogleich weiter geleitet wird.

3) Die Kügelchen eines Doppelpendels am Leinenfaden gehen aus einander, wenn man sie über einen am Conductor befestigten Drath hängt.

4) Ein dem Conductor genähertes Büschel Wolle oder Haare streckt ihm seine Fäden entgegen; läßt man es los, so fliegt es dem Conductor entgegen, wird aber sogleich abgestoßen, und seine Fäden stoßen sich gegenseitig ab.

5) Die Haare eines auf dem Isolirstuhle stehenden Menschen sträuben sich empor, wenn er den Conductor unmittelbar oder mittelst einer Metallkette berührt. (Den einfachsten Isolirstuhl erhält man, wenn man ein Brett auf vier starke Flaschen legt; auch ein gewöhnlicher hölzerner Stuhl mit Firnißanstrich reicht aus, wenn man seine Beine auf die Glasfüße eines Flügels stellt.)

6) Wenn man kleine leichte Puppen von Papier oder Hollundermark auf eine mit dem Conductor verbundene Metallfläche, z. B. auf den Deckel des Electrophors legt, und einen zweiten metallnen Teller in einiger Entfernung darüber hält, so richten sich die Puppen auf und tanzen. Nimmt man Sandkörner statt der Puppen, so entsteht der sogenannte electrische Regen.

7) Hängt man kleine Messingglöckchen ohne Klöpfel an einem durch einen Glasfuß isolirten, aber mit dem Conductor verbundenen Messingstreif auf, und zwar das eine an einem Drathkettchen, das andere, welches mit der Erde in leitende Verbindung zu setzen ist, an einem Seidenfaden, zwischen beide Glöckchen aber ein an einem Seidenfaden hängendes Metallkügelchen, so entsteht ein Geklingel, welches man das electrische Glockenspiel nennt. Das erste Glöckchen wird electrisch, zieht das Kügelchen an und stößt es wieder ab, so daß es seine

Digitized by Google

Electricität an das zweite Glöckchen abgiebt. Von diesem strömt sie in die Erde, worauf das Kügelchen aufs Neue von dem ersten Glöckchen angezogen wird.

B. Leuchtende Erscheinungen. (Im Finstern zu beobachten.)

1) Das electrische Licht strömt sichtbar aus dem geriebenen Glascylinder in die Spitzen des Zuleiters.

2) Auf jeden genäherten abgerundeten Leiter springt aus dem Conductor ein Funke über.

3) Aus dem Leibe eines auf dem Isolirstuhl stehenden, den Conductor berührenden Menschen kann man, wie aus dem Conductor selbst, Funken ziehen.

4) Aus der Spitze einer mit dem Conductor verbundenen Nadel strömt die + E. als Strahlenbüschel aus. Dieser Strom vermag leichte Gegenstände zu bewegen.

5) Aus einer dem Conductor entgegen gehaltenen Nadelspitze strömt die — E. als leuchtender Punkt aus.

6) Eine Glastafel in Holzrahmen bestreiche man mit Leim und streue Feilspäne darauf. Auf dem Rahmen befinden sich zwei Stanniolstreifen, von denen der eine mit einem Leiter verbunden ist. Setzt man den andern mit dem Conductor in Verbindung, so springt ein Funke von Spänchen zu Spänchen, und erleuchtet die Blitztafel.

7) Man schneidet einen Namen aus Stanniol aus, zertheilt die Buchstaben in kleine Stückchen und klebt sie so auf eine Glastafel, daß kleine Zwischenräume bleiben. Leitet man dann den electrischen Funken auf den Anfang der Schriftzüge, so springt er von Stück zu Stück über und der Name erscheint illuminirt.

8) Eine Glasröhre wird an einem Ende mit einer Metallplatte verschlossen, dann mittelst der Luftpumpe luftleer gemacht, und nun auch am andern Ende mit einer Metallplatte verschlossen. Setzt man die eine Metallplatte mit dem Conductor, die andere mit dem Erdboden (durch eine Metallkette) in leitende Verbindung, so strömen pur-

Digitized by Google

purne Lichtbogen in der Röhre von einer Platte zur andern (electrisches Nordlicht). Unvollkommner erhält man dasselbe, wenn man in einem Probirgläschen etwas Quecksilber kocht, so daß Quecksilberdämpfe das Glas erfüllen und die Luft verdrängen. Man verkorkt hierauf das Glas. Erwärmt man es in einem dunklen Zimmer über der Spirituslampe, so fahren, wenn man das Quecksilber schüttelt, Lichtblitze in dem Glase hin und her.

C. Zündende Erscheinungen. (Dieselben gelingen bei kleinen Maschinen besser mittelst der electrischen Batterie.)

1) Wenn man einen Löffel, welcher Aether oder erwärmten Spiritus enthält, am Conductor befestigt und einen Knöchel nähert, so entzündet der Funke die Flüssigkeit.
2) Wenn man dem Knöchel eines auf dem Isolirstuhle stehenden Menschen einen Löffel mit Aether oder erwärmtem Spiritus nähert, so fährt ein Funke aus dem Knöchel in den Löffel und entzündet die Flüssigkeit.
3) Man füllt ein kleines verkorktes Metallgefäß mit Knallgas, einer Mengung von Wasserstoffgas und atmosphärischer Luft. In das Gefäß ist eine Glasröhre eingekittet, in der ein am jedem Ende mit einer kleinen Metallkugel versehener Draht steckt. Bringt man die äußere Kugel dem Conductor nahe, so springt der Funke in diese über, dann aber aus der inneren Kugel an die Innenwand des Gefäßes. Indem er das Gas durchfliegt, entzündet er es; es entsteht eine Explosion und der Kork wird fortgeschleudert. (Electrische Pistole.)
4) Das Einschlagen in ein Häuschen, s. Batterie.

§ 177. Electrische Lufterscheinungen (Meteore).

Nächst dem Erdbeben und dem Ausbruche eines feuerspeienden Berges ist das Gewitter die großartig-furchtbarste Naturerscheinung. Am häufigsten sind die Gewitter an schwülen Som-

Digitized by Google

mertagen, doch kommen sie auch im Winter vor, ja in manchen Erdstrichen, z. B. in Schweden, an der Westküste von Nordamerika und an der Ostküste des adriatischen Meeres sind die Wintergewitter vorherrschend. In der heißen Zone beginnt und schließt die Regenzeit mit täglichen Gewittern von furchtbarer Heftigkeit; nach den Polen zu werden sie seltener und minder heftig. Manche Jahre sind reich, manche arm an Gewittern. In Deutschland finden im Durchschnitte jährlich etwa 20 Gewitter statt.

Die dem Gewitter vorangehenden und dasselbe begleitenden Erscheinungen sind allbekannt. Es bildet sich eine dicke, dunkle, tief gehende Wolke, unter welcher häufig kleine lichte Wölkchen schweben. Nachdem sie lange still gestanden hat, zieht sie plötzlich und oft ungemein schnell heran; der Sturm erhebt sich; Blitze zucken, der Donner rollt und kracht und der Regen strömt herab. Nicht selten geht dem Gewitterregen ein mehr oder minder heftiger Hagelschauer voran. Nach dem Gewitter ist in der Regel die Luft kühler, die Pflanzenwelt ist erquickt, Menschen und Thiere athmen freier und fühlen sich gestärkt.

Die Haupterscheinung bei einem Gewitter ist der Blitz. Die Vermuthung, daß derselbe eine Wirkung der Electricität, ein großer electrischer Funke sei, wurde durch Benjamin Franklin zur Gewißheit erhoben, als er im Jahre 1752 einen mit einer Drathspitze versehenen Drachen gegen eine Gewitterwolke aufsteigen ließ, und aus dem an das untere Ende der durch den Regen angefeuchteten Schnur gebundenen Schlüssel Funken zog. Noch bedeutendere Erfolge erzielte der Franzose de Romas, der in den folgenden Jahren Franklin's Versuch wiederholte, aber einen dünnen Metalldrath in die Schnur flocht. Das untere etwa 10 Fuß lange Ende derselben machte er aus Seide, und die Funken zog er mittelst eines mit isolirender Handhabe versehenen Ausladers aus dem Drathe. Er erhielt in einer Stunde dreißig zolldicke 9—10 Fuß lange Funken und tausend andere von 7 und weniger Fuß Länge. Der Knall, welchen dieselben verursachten, glich an Stärke einem Pistolenschusse.

Digitized by Google

Der an sich kugelförmige Blitz durchfliegt die Luft so schnell, daß das Auge (§ 113, 5) einen langen Feuerstreif zu sehen glaubt. Man hat von Bergen herab beobachtet, daß mancher Blitz den Himmel eine Meile lang durchfurcht. Die zickzackförmige Bewegung des Blitzes rührt von dem Widerstande der durch denselben gewaltig zusammengedrückten Luft her, welcher den Feuerball zu wiederholten Malen nöthiget, seinen Weg zu ändern.

Furchtbar sind die Wirkungen des einschlagenden Blitzes. Er spaltet Bäume und wirft die Aeste weit umher; nicht selten zerschmettert er ein ganzes Gebäude. Er schmelzt Metalle, entzündet brennbare Stoffe und verglaset Kieselsteine. Die Blitzröhren oder Donnerkeile, welche man zuweilen im Sande findet, und von denen der Aberglaube meint, daß sie mit dem Blitze aus der Luft herabführen, bestehen aus geschmolzenen und verglaseten Sandkörnern. An Menschen, welche vom Blitze getroffen werden, nimmt man gewöhnlich nur geringe Verletzungen der äußeren Körpertheile wahr, während das Innere unversehrt bleibt.

Der auf die Erde niederfahrende Blitz wählt in der Regel den kürzesten Weg, den ihm gute Leiter, besonders Metalle, darbieten; oft springt er aber von einem Leiter auf einen andern über, so daß seine Bahn dann eine mehrfach sich verändernde Richtung hat. Es ist daher gefährlich, sich bei einem Gewitter in der Nähe guter Leiter (eiserner Oefen, Klingelzüge u. s. w.) aufzuhalten oder leitende Körper in der Hand oder in den Taschen zu haben. Da Rauch und Ruß die Electricität leiten, so thut man wohl, ein etwa brennendes Feuer bei dem Herannahen eines Gewitters auszulöschen. Der Blitz fährt gern nach den höchsten Gegenständen, daher begiebt man sich in große Gefahr, wenn man sich während des Gewitters unter einen hohen Baum stellt. Vorzüglich oft werden Eichen vom Blitze getroffen. Dagegen ist man in einem Walde, dessen Bäume ziemlich von gleicher Höhe sind, nicht mehr gefährdet, als an einem andern Orte. Befindet man sich ganz allein auf dem freien, baumlosen

Digitized by Google

Felde, so ist man vor dem Blitze am sichersten, wenn man sich auf die Erde niederlegt. Auch thut man wohl, sich aus der Nähe von Thieren (z. B. Pferden) zu entfernen.

Die Erfahrung, daß der Blitz stets den besten Leitern folge, brachte B. Franklin auf die Idee, Häuser vor demselben durch Blitzableiter zu schützen, d. h. eine senkrechte Metallstange auf dem Dache aufzurichten, und von derselben einen Drath zur Erde zu führen. Ein guter Blitzableiter muß eine sehr feine Spitze haben, welche, um das Rosten zu verhüten, gut vergoldet ist. Er muß durch einen starken Metalldrath in vollkommen ununterbrochener Verbindung mit dem Erdboden stehen, sich in demselben verzweigen und in einen Brunnen oder doch in stets feucht bleibenden Boden enden. Der zu seinem Ende führende Kanal wird mit Holzkohlen gefüllt, weil diese das Eisen vor dem Rost bewahren und zugleich sehr gut leiten.

Wie man durch eine dem Conductor der Electrisirmaschine genäherte Metallspitze keinen Funken erhält, so schlägt auch in einen richtig angelegten Blitzableiter fast niemals ein Blitz. Die Wolke wirkt vielmehr vertheilend auf den Blitzableiter; die ungleichnamige Electricität strömt durch die Spitze in die Luft, die gleichnamige wird abgestoßen und strömt in den Boden. Ist aber die Leitung irgendwo unterbrochen, so springt dort die herabströmende Electricität als Funke über, verläßt auch wohl den Blitzableiter ganz und springt auf einen andern nahen Leiter. Auf diese Weise fand der Professor Richmann zu Petersburg 1753 seinen Tod. Er hatte die Leitung seines Blitzableiters behufs anzustellender Beobachtungen unterbrochen, und wurde von einem abspringenden Funken erschlagen. — Fällt wirklich einmal ein Blitz auf einen Blitzableiter, z. B. wenn die Spitze desselben stumpf geworden ist, so thut er doch dem Gebäude keinen Schaden, sondern fährt an dem Leitungsdrathe hinab. Man nimmt an, daß der Blitzableiter einen Kreis schütze, dessen Halbmesser das Doppelte der senkrechten Stange beträgt.

Der Donner ist das im Großen, was das Knistern des Funkens der Electrisirmaschine im Kleinen ist. Er entsteht durch

Digitized by Google

die Schwingungen der von dem Blitze durchschnittenen Luft. Wer einem herabfahrenden Blitze ganz nahe ist, hört nur einen heftigen, kurzen Schlag, der mit dem Blitze gleichzeitig ist. Sind wir aber in größerer Entfernung von einem zur Erde fahrenden oder von einer Wolke zur andern überspringenden Blitze, so gelangen die Schallwellen nach einander an unser Ohr und der Donner erscheint als ein Rollen, welches durch das von Bergen, vielleicht auch von Wolken verursachte Echo oft bedeutend verstärkt wird. Das Rollen des Donners behält nicht fortwährend gleiche Stärke, was sich aus dem Zickzackwege des Blitzes leicht erklären läßt. Da die Geschwindigkeit des Lichtes für alle irdischen Entfernungen eine augenblickliche ist, während der Schall in einer Secunde nur ungefähr 1050 Fuß zurücklegt, so hören wir den Donner eines Blitzes um so später, je entfernter derselbe ist, und wir können ungefähr annehmen, daß ein Gewitter eine Meile von uns weg ist, wenn zwischen Blitz und Donner 24 Pulsschläge zu zählen sind.

Zuweilen sieht man Blitze, ohne daß man einen Donner wahrnimmt. Sie rühren manchmal von weit entfernten Gewittern her, noch häufiger sind sie ein ruhiges Ausströmen der electrischen Materie, und sie haben dann auch nicht die Zickzackform gewöhnlicher Blitze, sondern ein großer Theil des Himmels wird erhellt. Man nennt diese Erscheinung das Wetterleuchten, und da demselben in der Regel eine Erniedrigung der Temperatur folgt, so pflegt man zu sagen, das Wetter kühle sich ab.

Vor und während Gewittern sieht man manchmal aus Spitzen, z. B. Thürmen, Blitzableitern, Schiffsmasten, aus den Ohren der Pferde u. s. w., electrisches Licht ausströmen. Diese Erscheinung wird St. Elmsfeuer, Kastor und Pollux oder Wetterlicht genannt.

Wodurch die Electricität der Luft erzeugt wird, ist noch nicht genügend erforscht.

Digitized by Google

§ 178. Das Nordlicht.

Es erscheint in den Polargegenden, selten bei uns, als ein hellleuchtender Bogen, welcher abwechselnd gelb, roth und violett erscheint, und von welchem von Zeit zu Zeit Lichtstrahlen emporschießen, die mit dunkleren Streifen wechseln. Wahrscheinlich ist es eine electrische Erscheinung, welche mit dem Ausströmen der Electricität im Dunkeln große Aehnlichkeit hat. Während eines Nordlichtes zeigt sich die Magnetnadel unruhig, ja zuweilen gerathen die Läutewerke der electro-magnetischen Telegraphen in Thätigkeit.

II. Die Berührungs-Electricität oder der Galvanismus.

§ 179. Erscheinungen des Galvanismus.

Wollen wir in Glas, Harz, Papier, Wolle u. dgl. electrische Erscheinungen hervorrufen, so reiben wir diese Körper mit verschiedenen Reibzeugen. In Metallen läßt sich durch Reibung nur schwer Electricität hervorrufen, dagegen genügt schon die bloße Berührung zweier Metalle, so wie die Berührung eines Metalls und einer Flüssigkeit, um dieselben electrisch zu machen. Aehnlich verhält sich die Kohle.

Daß, wenn man eine Kupfer- und eine Zinkplatte mittelst isolirender Handgriffe an einander hält, beide electrisch werden, und zwar so, daß nach ihrer Trennung die Kupferplatte negative, die Zinkplatte positive Electricität zeigt, läßt sich nur mittelst der feinsten Apparate nachweisen. Folgende Versuche aber lassen sich leicht anstellen.

Legt man ein Streifchen Kupferblech auf die Zunge, ein Streifchen Zinkblech unter dieselbe, so daß sie sich vorn berühren, so nimmt man einen säuerlichen Geschmack wahr; bei umgekehrter Lage der Blechstreifen ist der Geschmack laugenhaft.

In ähnlicher Weise wirken ein Bleistreif und ein silberner Theelöffel; liegt das Blei oben, so ist der Geschmack säuerlich, liegt das Silber oben, so ist er laugenhaft.

Digitized by Google

Drückt man an das obere Zahnfleisch auf einer Seite des Mundes einen Zink-, auf der andern einen Kupferstreif, so nimmt man in dem Augenblicke, da sich die Metalle vorn berühren, einen blitzartigen Lichtschein vor dem Auge wahr. Blei und Silber geben dieselbe Erscheinung.

Legt man auf den Boden eines Salzsäure enthaltenden Gefäßes ein Goldstück und berührt dasselbe mit einem Zinkstäbchen, so steigen große Blasen einer aus der Säure ausgeschiedenen Luftart (Wasserstoffgas) in die Höhe. Ebenso nimmt man eine Gasentwickelung wahr, wenn man ein Kupfer- und ein Zinkstäbchen in ein Gefäß mit Wasser stellt, so daß sie sich außerhalb des Wassers berühren.

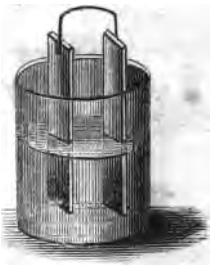
Daß alle diese Vorgänge Wirkungen der Electricität sind, wird der weitere Verfolg unserer Betrachtungen beweisen. Die auffallendste Erscheinung aber ist das Zucken der Schenkel eines getödteten Frosches, wenn man an die entblößten Nerven einen Zinkstreif, an die bloßgelegten Muskeln aber einen Kupferstreif hält, und beide Metalle an den freien Enden zusammenbringt. Man muß zu diesem Behufe von dem unteren Theile eines so eben getödteten Frosches rasch die Haut abziehen. Hierauf bringt man eine Scheere zwischen die beiden Schenkelnerven, welche zu beiden Seiten der Wirbelsäule als weiße Fäden erscheinen, und schneidet mit zwei Schnitten die zwei oder drei untersten Rückenwirbel weg, so daß die Schenkelnerven bloßliegen, und die Schenkel nur durch diese Nerven mit den oberen Wirbelknochen zusammenhängen. Legt man nun einen Zinkstreif zwischen die Nerven und einen Kupferstreif an die Muskeln der Unterschenkel, so gerathen, sobald sich die Metalle berühren, die Schenkel in den ersten 20 bis 30 Minuten nach dem Tode in lebhafte Zuckungen.

Der Entdecker dieser Erscheinung war Aloys Galvani Professor der Arzneikunde zu Bologna; nach ihm benennt man die Berührungs- (Contact-) Electricität den Galvanismus. Während Galvani annahm, die von ihm entdeckte Electricität stamme aus dem thierischen Körper, wies Alexander Volta nach, daß dieselbe durch die Berührung der Metalle entstehe.

Digitized by Google

Die Körper, durch welche der Galvanismus erregt wird, heißen Erreger oder Electromotore. Man unterscheidet Erreger erster und Erreger zweiter Klasse. Zu ersteren gehören alle Metalle und die Kohle, zu letzteren die Flüssigkeiten als: Wasser, Säuren, aufgelöste Salze u. s. w. In der electrischen Spannungsreihe (+ Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platina, Kohle —) sind die Erreger erster Klasse so geordnet, daß jeder Körper, sobald er einen der folgenden berührt, positiv, der letztere aber negativ electrisch wird. Je weiter zwei derselben in der Reihe von einander entfernt sind, desto stärker wirken sie auf einander; die kräftigste Wirkung geben also Zink und Kohle, demnächst Zink und Platina, am häufigsten aber wendet man Zink und Kupfer an.

Aber nicht bloß durch Berührung zweier Erreger erster Klasse wird der Galvanismus erzeugt, sondern auch durch Berührung eines Metalles und einer Flüssigkeit. Wenn man z. B. ein Zinkstäbchen in eine Säure stellt, so zeigt das hervorragende Ende negative Electricität. Stellt man in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Glas einen Zink- und einen Kupferstab, ohne daß sich dieselben berühren, so zeigt ersterer an seinem hervorragenden Ende — E., letzterer + E. Verbindet man die aus der Säure hervorragenden Metalle durch einen Drath, so strömt die positive Electricität durch denselben vom Kupfer zum Zink, die negative vom Zink zum Kupfer.



§ 180. Die galvanische Kette und die Volta'sche Säule.

Die einfache galvanische Kette oder ein galvanisches Element bildet man entweder auf die in obiger Figur dargestellte Weise, oder indem man zwischen eine blanke Kupfer- und eine eben solche Zinkplatte eine mit Salzwasser oder einer verdünnten Säure angefeuchtete Filz- oder Tuchscheibe bringt.

Digitized by Google

Durch die Berührung des Zinks und der Säure wird ersteres negativ, letztere positiv electrisch, und die positive Electricität der Flüssigkeit geht in das leitende Kupfer über. Verbindet man nun das Kupfer mit dem Zink durch einen Metalldrath, so heißt die Kette geschlossen, und die + E. strömt von dem Kupfer durch den Leitungsdrath zu der — E. des Zinkes. Dieser Strom dauert ununterbrochen fort, so lange die Kette geschlossen bleibt, denn sobald die Vereinigung der beiden Electricitäten geschehen ist, erfolgt eine neue Erregung durch die fortdauernde Berührung der Electromotore, und dieser Vorgang wiederholt sich in einer einzigen Secunde unzähligemal.

Der galvanische Strom ist ein doppelter, denn während die + E. vom Kupfer zum Zink strömt, begiebt sich in umgekehrter Richtung die — E. vom Zink zum Kupfer. Man läßt aber insgemein den negativen Strom unberücksichtiget, und versteht unter dem galvanischen Strome stets den positiven.

Je größer die zu einem galvanischen Elemente verbundenen Platten sind, desto stärker sind manche ihrer Wirkungen. Andere Wirkungen aber hängen nicht von der Größe, sondern von der Zahl der Plattenpaare ab. Man kann nämlich aus beliebig vielen Plattenpaaren eine Säule aufbauen, welche die Volta'sche Säule oder die galvanische Batterie genannt wird. Die Errichtung dieser Säure geschieht auf einem hölzernen Untersatze zwischen drei Stäben von Glas (Glasröhren) oder von trockenem mit Firniß überzogenem Holze. Gewöhnlich nimmt man Platten von der Größe eines Thalerstückes. Fängt man mit einer Kupferplatte (k) an, so legt man auf diese eine mit einer Säure (Kochsalzlösung in Essig oder Salzwasser oder verdünnte Schwefelsäure) getränkte Tuchscheibe (f) und auf letztere eine Zinkplatte (z), so daß die Säule von unten

Digitized by Google

nach oben die Ordnung zeigt kfz, kfz, kfz . . . fz. Fängt man mit Zink an, so ist die Ordnung: zfk, zfk . . . fk. Die Endplatten bilden die beiden Pole der Säule. Der Kupferpol ist der positive, der Zinkpol der negative Pol. Sowohl an den Kupferpol als an den Zinkpol löthet man einen Kupfer- oder Messingdrath. Bringt man die blank geriebenen Enden dieser beiden Dräthe zusammen, so ist die Säule geschlossen, und der (positive) Strom fließt ununterbrochen vom Kupferpole durch den Schließungsdrath nach dem Zinkpole hin, um seinen Weg mit einer Schnelligkeit von 60000 Meilen in der Secunde aufs Neue zu durchlaufen.

Die verstärkte Wirkung der Volta'schen Säule ist leicht zu begreifen. Fängt die Säule mit Zink an, so ladet sich die nächste Kupferplatte mit + E., welche bis zur letzten Kupferplatte (zum Kupferpole) fortgeleitet wird. In gleicher Weise ladet sich die Kupferplatte des zweiten Elementes mit + E., welche ebenfalls bis zum Kupferpole fortgeleitet wird. Besteht nun z. B. die Säule aus 40 Plattenpaaren, so muß sich an dem Kupferpole 40 mal so viel + E. anhäufen, als ein einziges Plattenpaar zu erzeugen im Stande wäre. Ebenso sammelt sich die — E. sämmtlicher Elemente am Zinkpole der Säule.

§ 181. Die beständigen (constanten) Ketten.

Die Anwendung der Volta'schen Säule ist mit großer Unbequemlichkeit verknüpft. Das Wasser der Feuchtigkeit wird nämlich durch den galvanischen Strom in zwei Luftarten (Gase), aus denen es besteht, zerlegt: in Sauerstoff und Wasserstoff. Ersterer verbindet sich mit dem Zink, wodurch dasselbe einen weißlichen Ueberzug (Rost) bekommt und an erregender Kraft verliert; der Wasserstoff hingegen setzt sich in kleinen Bläschen an das Kupfer, wodurch dasselbe ebenfalls außer Verbindung mit der erregenden Flüssigkeit kommt. Die Wirkung der Säule nimmt daher rasch ab und hört bald völlig auf. Ehe man sie wieder in Thätigkeit setzen kann, müssen alle Platten mühsam gereiniget werden.

Digitized by Google

Diese Uebelstände finden nicht oder doch in weit geringerem Grade statt bei den sogenannten beständigen oder constanten Ketten, deren Wirksamkeit weit anhaltender und gleichmäßiger ist. Es giebt verschiedene Arten derselben, von denen wir die drei wichtigsten kennen lernen müssen. Alle haben das Gemeinsame, daß sie aus zwei festen Erregern und zwei Flüssigkeiten gebildet sind, welche durch eine poröse Scheidewand getrennt werden, so daß ihr leitender Zusammenhang nicht aufgehoben, wohl aber ihr Zusammenfließen verhindert wird. Als solche Scheidewand benutzt man in der Regel einen Topf von schwach gebranntem, unglasirtem Thone. Allenfalls genügt schon ein gewöhnlicher kleiner Blumennapf, welcher senkrechte Wände und kein Loch im Boden hat.

Bei allen gebräuchlichen constanten Ketten ist der eine feste Erreger das Zink, der zweite ist Kupfer, Kohle oder Platina; bei allen ist der Zinkpol der negative Pol, so daß der positive Strom von Kupfer, von der Kohle oder von dem Platina kommt.

Wir sahen oben, daß die Wirksamkeit der Volta'schen Säule darum bald gehemmt wird, weil der galvanische Strom das Wasser des feuchten Erregers in Sauer- und Wasserstoff zersetzt und letzterer das Kupfer umgiebt. Bei den constanten Ketten verbindet sich aber der frei gewordene Wasserstoff sofort mit dem Sauerstoffe der zweiten Flüssigkeit zu Wasser, so daß sich um den zweiten festen Erreger (Kupfer, Kohle, Platina) keine ihn isolirende Wasserstoffschicht lagern kann.

1. Die Daniel'sche oder Zink-Kupfer-Kette.

Die beiden festen Erreger sind Zink und Kupfer; die beiden Flüssigkeiten sind verdünnte Schwefelsäure und eine gesättigte Lösung von Kupfervitriol. Erstere kommt mit dem Zink, letztere mit dem Kupfer in unmittelbare Berührung; durch den porösen Topf werden sie von einander geschieden.

Ein Daniell'sches Element kann auf verschiedene Weise gebildet werden.

Digitized by Google

a) Man läßt vom Kupferschmiede oder Klemptner einen hohlen Cylinder von Kupferblech anfertigen, der an einem Ende durch einen kupfernen Boden geschlossen ist, mithin einem walzenförmigen Becher gleicht. Die Größe desselben ist beliebig; man nehme beispielsweise eine Höhe von 4—6 und eine Weite von 2—$2^1/_2$ Zoll an.

In diesen Kupferbecher stellt man den porösen Topf, der eben so hoch, aber etwas enger ist, als jener, so daß zwischen den Seitenwänden beider Gefäße etwa $^1/_3$ Zoll Raum bleibt.

In den Thontopf stellt man einen Cylinder von Zink, welcher massiv oder hohl (aus Zinkblech zusammengebogen) sein kann. Im letzteren Falle hat er keinen Boden und bleibt an einer Längsseite offen. Zwischen dem Thontopfe und dem Zinkcylinder bleibt ebenfalls ein Zwischenraum.

Man kann die Kraft und Dauerhaftigkeit des Zinkcylinders verstärken, wenn man ihn amalgamirt (verquickt), d. h. mit einem Ueberzuge von Quecksilber versieht, welches sich mit dem Zink chemisch verbindet. Zu diesem Behufe reinigt man das Zink durch Abreiben mit verdünnter Schwefelsäure, und reibt es dann mittelst eines in die Säure getauchten Läppchens mit etwas Quecksilber, bis es eine vollkommen blanke Oberfläche hat. Ist der Zinkcylinder hohl, so braucht man ihn nur in einer Porzellanschale, welche eine geringe Menge mit Salzsäure übergossenen Quecksilbers enthält, zu drehen, so daß er rings herum das Quecksilber berührt, worauf es sich bald über die ganze Oberfläche des Cylinders verbreitet.

Nun füllt man den Raum zwischen dem Kupfer und dem Thontopfe mit einer gesättigten Lösung von Kupfervitriol, in welche man noch einige kleine Krystalle des blauen Salzes wirft; in den Thontopf aber kommt verdünnte Schwefelsäure, welche man bereitet, indem man Wasser in ein Glas gießt, dieses in eine Schüssel mit kaltem Wasser stellt, und nun langsam in einem dünnen Strahle soviel concentrirte Schwefelsäure in das Glas fließen läßt, daß auf 20 Raumtheile Wasser 1 solcher Raumtheil Säure kommt. Ist das Zink amalgamirt, so kann man die Säure stärker nehmen.

Digitized by Google

Löthet man nun sowohl an den oberen Rand des Kupfercylinders als an den des Zinkcylinders einen schmalen Kupferstreifen, so hat man die beiden Pole des Daniell'schen Elementes, an denen sich die beiden entgegengesetzten Electricitäten sammeln, und zwar häuft sich die + E. am Kupfer-, die — E. am Zinkpole an.

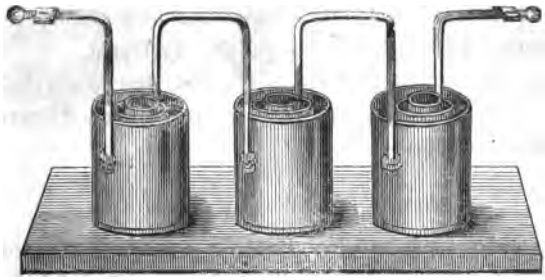
b) Statt des mit einem Boden versehenen Kupfercylinders kann man auch einen an beiden Enden offenen und mit einem Längsschnitt versehenen, d. h. ein walzenförmig gebogenes Kupferblech anwenden. Dieses stellt man in den Thontopf, welchen der ebenso gestaltete Zinkcylinder von außen umgiebt; die ganze Vorrichtung aber kommt in ein Glas zu stehen. In diesem Falle gießt man natürlich die Kupfervitriol-Lösung in den Topf, die verdünnte Schwefelsäure aber füllt den Raum zwischen den Wänden des Glases und des Topfes. Die Pole erhält man wie vorhin durch angelöthete Kupferbleche. — Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, daß man auch bei dieser Zusammenstellung das Zink in den Thontopf, das Kupfer außerhalb desselben bringen kann.

Ist ein Element in einer der beschriebenen Arten zusammengestellt, so ist die Kette offen, die beiden entgegengesetzten Electricitäten können nicht zu einander gelangen. Löthet man aber an jedes Polblech einen Kupferdrath, oder befestigt man diese Dräthe mit Klemmschrauben, so kann die Kette geschlossen werden, indem man die blank geschabten Enden der Schließungsdräthe mit einander verbindet. Sobald dies geschieht, beginnt der galvanische Strom seinen Kreislauf.

Bei einer solchen Kette wird zwar, wie bei der Volta'schen Säule, das Wasser ebenfalls in Sauerstoff und Wasserstoff zerlegt, aber der frei gewordene Wasserstoff verbindet sich sogleich mit dem in der Kupfervitriol-Lösung enthaltenen Sauerstoffe zu Wasser, wobei das in dem Kupfervitriol enthaltene Kupfer sich ausscheidet und an das Kupferblech absetzt, so daß stets metallisches Kupfer mit der Flüssigkeit in Berührung bleibt.

Für viele Zwecke ist die Kraft eines einzigen Elementes zu gering; man verbindet daher mehrere derselben zu einer gal-

Digitized by Google



vaniſchen Batterie, indem man einen Kupferſtreif oder -draht von dem Zink des erſten Elementes zu dem Kupfer des zweiten, ebenſo von dem Zink des zweiten, zum Kupfer des dritten führt u. ſ. w. Bei dieſer Anordnung bleibt das Kupfer des erſten und das Zink des letzten Elementes frei, und die an den beiden unverbundenen Cylindern befindlichen Kupferſtreifen bilden die Pole, an welche die Schließungsdräthe kommen.

Der Strom einer Daniell'ſchen Batterie iſt verhältnißmäßig ſchwach, behält aber mehrere Tage lang ſeine Kraft unverändert.

2. Bunſen's Zink-Kohlen-Kette.

Die Anordnung eines Elementes und die Verbindung mehrerer Elemente zu einer Batterie iſt im Weſentlichen wie bei der Daniell'ſchen Kette. Statt des Kupfercylinders aber wird ein hohler Kohlencylinder genommen, der oben mit einem Zinkringe verſehen iſt. In das Glas kommt zuerſt der Zinkcylinder, in dieſen der Thontopf und in letzteren der Kohlencylinder, oder umgekehrt. Als Flüſſigkeiten dienen: verdünnte Schwefelſäure für das Zink und concentrirte Salpeterſäure für die Kohle.

Die Kohlencylinder ſind theuer, da nur gewiſſe Arten von Steinkohle ſich brauchbar erweiſen und die Kohle einer ſorgfältigen Zubereitung bedarf. Man kann aber ſtatt ihrer pulveriſirte Coaks (entſchwefelte Steinkohlen) verwenden, mit dieſen den Thontopf füllen und ſie mit concentrirter Salpeterſäure anfeuchten. In das Kohlenpulver drückt man ein größeres Stück Coak, welches mit blank geſchabtem Kupferdrath umwunden wird, deſſen freies

Digitized by Google

Ende als positiver Pol- und Schließungspunkt dient, während der negative Poldrath vom Zinkcylinder herkommt.

Auch bei der Bunsen'schen Kette wird kein Wasserstoff frei, da sich derselbe sogleich mit dem Sauerstoffe der Salpetersäure zu Wasser verbindet.

3. Morse's (Grove's) Zink-Platin-Kette.

Bei dieser wird statt des Kupfers oder der Kohle ein Platinblech von der Dicke des Stanniols angewendet, welches in ein hölzernes Tellerchen, mit dem der Thontopf bedeckt wird, so befestiget ist, daß es senkrecht in den Topf hinabhängt, oberhalb aber etwas vorragt. Der Thontopf wird mit concentrirter Salpetersäure gefüllt, in den Raum zwischen ihm und dem Glase, welcher den Zinkcylinder enthält, wird verdünnte Schwefelsäure gegossen. Alles Uebrige ist wie bei den vorigen Ketten.

Anmerkung. Wenn eine constante Kette nicht gebraucht wird, so nimmt man sie aus einander, reinigt die Zinkcylinder mit feinem Sande und legt die Thonbecher in Wasser. Hat sich auf einem amalgamirten Zinkcylinder das Queckſilber in Tropfen gesammelt, so breitet es sich von selbst aus, sobald die Kette in Wirksamkeit gesetzt wird. Das bei der Bunsen'schen Kette angewendete Kohlenpulver schüttet man zum Trocknen aus, und feuchtet es vor dem abermaligen Gebrauche wieder mit Salpetersäure an.

Zusatz. Bei der Meidinger'schen galvanischen Batterie ist kein poröses Zwischengefäß erforderlich. Ein Element derselben besteht aus einem großen Standglase, in welches der aus $^1/_8$" starken Zinkblech gemachte Zinkcylinder kommt. Innerhalb desselben kommt ein kleineres Einsatzglas zu stehen, welches den Kupfercylinder enthält. Das große Glas wird mit einem Deckel von lackirtem Holz verschlossen, welcher in seiner Mitte eine Oeffnung zur Aufnahme eines unten $^3/_{10}$" weiten Glastrichters enthält, der bis zur Hälfte in das kleinere Glas hinabreicht. Außerdem befinden sich in dem Deckel noch zwei Oeffnungen: eine runde, durch welche der mit Gutta percha bekleidete Poldrath des Kupfercylinders, und eine längliche, aus welcher der Polstreif des Zinkcylinders hervorragt. Wenn Alles fest steht, gießt man in den Trichter eine mit Fluß-, Regen- oder destillirtem Wasser bereitete Lösung von 5 Loth Bittersalz (schwefelsaure Magnesia) oder Zinkvitriol (schwefelsaures Zinkoxyd), bis dieselbe beide Gläser füllt, so daß sie $1^1/_2 - 2$" unter dem Rande des großen Glases steht. Nun wird der Glastrichter mit haselnußgroßen Stücken

Digitized by Google

von Kupfervitriol gefüllt. Mit der Auflösung desselben durch die Bittersalzlösung beginnt der galvanische Prozeß, und bleibt, wenn der Apparat vor jeder Erschütterung bewahrt wird, viele Monante constant. Wird jedoch die Vorrichtung erschüttert, so daß eine Mischung der beiden durch ihr verschiedenes specifisches Gewicht getrennten Flüssigkeiten stattfindet, so muß das Element neu angesetzt werden. In einem Hôtel zu Breslau werden die Klingelzüge mittelst eines solchen Apparates in Bewegung gesetzt.

§ 182. Einwirkung des galvanischen Stromes auf den menschlichen Körper.

Faßt man den einen Schließungsdrath einer Volta'schen Säule oder einer galvanischen Batterie mit der einen Hand, darauf den zweiten mit der anderen, so fühlt man im Augenblicke der Schließung einen electrischen Schlag, indem der galvanische Strom durch den in den Schließungsbogen eingeschalteten menschlichen Körper hindurchgeht. Bleibt man nun in fester Verbindung mit beiden Polen, so hört bei schwachen Strömen die Empfindung auf, bei starken stellt sich ein brennendes Gefühl ein. Läßt man einen Drath oder beide zugleich los, so empfindet man abermals einen jedoch schwächeren Schlag.

Stärker ist die Wirkung, wenn man die Dräthe mit naſſen Händen faßt, weil die trockne Haut ein schlechter Leiter ist, und noch kräftiger erscheint sie, wenn man in jede zuvor mit Salzwasser benetzte Hand einen silbernen Löffel nimmt, und damit die Schließungsdräthe berührt, oder wenn man an jeden Poldrath einen Cylinder von Messing hängt und diesen mit der feuchten Hand umfaßt. Auch dann werden die Hände erschüttert, wenn man sie in eine Schüssel mit Wasser taucht, in welches die Poldräthe geleitet sind.

Wie die Schläge der Reibungs-Electricität können auch die durch den galvanischen Strom verursachten Erschütterungen von mehreren Personen gleichzeitig empfunden werden, wenn dieselben einander mit benetzten (besonders in Salzwasser getauchten) Händen berühren, und jeder Flügelmann einen der Dräthe anfaßt.

Faßt man einen Drath mit der feuchten Hand, so sieht man einen Blitz vor den Augen, sobald man den andern Drath an

Digitized by Google

die benetzte Stirn bringt, ebenso, wenn man ihn wieder entfernt. Dieser Versuch ist jedoch nur bei schwachen Strömen rathsam. — Hält man den einen Drath an die Zungenspitze, während man mit einer Hand den anderen faßt, so entsteht eine Geschmacksempfindung, und zwar verursacht der vom positiven Pol kommende Drath einen säuerlichen, der vom negativen kommende einen laugenartigen Geschmack. — Leitet man in jedes Ohr einen der Dräthe einer sehr schwachen Kette, so vernimmt man ein Geräusch. Dasselbe erfolgt, wenn man von einer kräftigen Kette nur den einen Drath in ein Ohr leitet, den andern aber mit den feuchten Fingern berührt.

Man hat sowohl die heftigen, aber plötzlich vorübergehenden Schläge der Reibungs-Electricität (mittelst der Electrisirmaschine oder der Verstärkungsflasche) als den sanften Strom der galvanischen Electricität zu Heilzwecken verwendet, wobei sich der letztere als der zweckmäßigere erwiesen hat. Rheumatische Zahnschmerzen werden durch denselben fast augenblicklich vertrieben, aber auch hartnäckige Gliederlähmungen vermag er zu heilen. Die Einwirkung auf den Körper wird durch rasch auf einander folgendes Oeffnen und Schließen der Kette sehr gesteigert, und man hat für diesen Zweck besondere Vorrichtungen erfunden, von denen eine weiter unten (Fig. auf S. 437) besprochen werden wird.

§ 183. Galvanische Licht- und Wärme-Erscheinungen.

Schiebt man über jeden der Schließungsdräthe eine kurze Glasröhre, so daß man sie mittelst derselben isolirt anfassen kann, so sprüht ein electrischer Funke über, sobald man die Dräthe einander sehr nahe bringt. Dieser Funke verzehrt das unächte Blattgold, mit welchem man das Ende des einen Drathes umwickelt. Bei starken Säulen entzündet er leicht brennbare Körper, z. B. Knallgas, Phosphor, Schwefel, Aether u. dgl. Am stärksten sind die Funken, wenn man an den Kupferpol einen blanken Eisendrath befestiget, und das zugespitzte Ende desselben dem vom Zinkpol kommenden Messing- oder Kupferdrath oder dem Zinkpol selbst nähert. Besonders schöne Funken erhält

Digitized by Google

man, wenn man den einen Drath in ein Gläschen mit Queckſilber leitet, und den anderen iſolirt angefaßten Drath der Oberfläche des Queckſilbers nähert. Steckt der vom Zinkpol kommende Drath im Queckſilber, während der vom Kupferpol kommende dem Queckſilber genähert wird, ſo iſt der Funke bläulich, bei dem umgekehrten Verfahren erſcheint er feuerroth.

Ein Licht von wunderbarer Schönheit, Solarlicht (Sonnenlicht) genannt, erhält man, wenn man an die Schließungsdräthe zwei zugeſpitzte Kohlenſtücke (am beſten in Zuckerlöſung getränkte und wieder getrocknete Coaks) befeſtigt, und ihre Spitzen einander nähert. Bei Davy's Rieſenſäule (2000 Elemente) entſtand zwiſchen den Kohlenſpitzen, wenn man ſie allmählig bis auf vier Zoll entfernte, ein prachtvoller Lichtbogen, in welchem Platina wie Wachs zerfloß; Quarz, Kalk und Edelſteine geriethen in Fluß, Reißblei und Diamant wurden augenblicklich verflüchtiget. Uebrigens verbrennen die Kohlen ſehr raſch, und müſſen durch neue erſetzt werden. Läßt man ſie in dem Brennpunkte eines großen Hohlſpiegels glühen, ſo erhält man die galvaniſche Sonne, deren Licht ganze Städte zu überſtrahlen vermag, und mittelſt deren auf Theatern der Sonnenaufgang in der Oper: „Der Prophet“ dargeſtellt wird. Als bei einem Aufenthalte des Königs Friedrich Wilhelm IV. in Breslau eine mächtige galvaniſche Sonne von dem platten Dache des Theaters aus die Nacht erhellte, rief er bewundernd aus: „Bin ich denn Karl V., daß in meinem Reiche die Sonne nicht untergeht?“ — Feine Platinadräthe kommen zwiſchen den Schließungsdräthen zum Glühen. Dieſes Glühen der Dräthe wird zum Sprengen von Minen und Felſen, und von Aerzten zum Ausbrennen von Schäden im Munde (z. B. bei Knochenfraß) angewendet. Im erſteren Falle hat man den Vortheil, daß man ſich beliebig weit von dem Sprengungsorte entfernen und doch des Erfolges ſicher ſein kann; im letzteren Falle kann der Drath im kalten Zuſtande mit aller Ruhe an den kranken Theil gelegt werden, und dann erfolgt das Glühen ſo plötzlich und energiſch, daß der Kranke weniger Schmerz empfindet.

Digitized by Google

§ 184. Chemische Wirkungen des galvanischen Stromes.

a) Zersetzung des Wassers. Das Wasser ist kein einfacher Stoff (kein Element), sondern es ist eine chemische Verbindung zweier Luftarten, des Sauerstoffgases und des Wasserstoffgases, und zwar in dem Verhältnisse, daß ein Raumtheil (z. B. Kubikzoll) Sauerstoffgas und zwei eben solche Raumtheile Wasserstoffgas sich zu Wasser verbinden. Mittelst einer kräftigen Volta'schen Säule oder einer galvanischen Batterie vermag man das Wasser in diese seine beiden Bestandtheile zu zerlegen. Man bedarf zu diesem Zwecke eines Gefäßes, z. B. eines inwendig mit Firniß angestrichenen hölzernen Bechers, in dessen Boden zwei feine Platindräthe eingekittet sind, so daß das eine Ende derselben nach außen vorragt und zu einer Schlinge umgebogen wird, während das innere Ende mehrere spiralförmige Windungen erhält. (Man kann statt des Bechers auch einen Trichter von Glas oder Porzellan anwenden, die Röhre mit einem Korke verstopfen und die Dräthe durch diesen hindurchstechen.) Nun füllt man das Gefäß zum Theil mit Wasser, und stellt zwei mit Wasser gefüllte Probirgläschen umgekehrt hinein, indem man sie mit der durch den Daumen verschlossenen Oeffnung unter Wasser bringt, dann den Daumen entfernt, und jedes Gläschen so über einen der Spiraldräthe stellt, daß derselbe ein Stückchen hineinragt. Sobald man nun die Schließungsdräthe der Volta'schen Säule an die außen befindlichen Schlingen der Platindräthe befestiget, beginnt der galvanische Strom sein Zersetzungsgeschäft. In dem mit dem positiven (Kupfer-) Pole in Verbindung stehenden Probirglase sammelt sich das Sauerstoffgas, in dem anderen das Wasserstoffgas, und zwar von letzterem die doppelte Raummenge. Ist das Wasser aus den Gläschen durch die aufgestiegenen Luftblasen verdrängt, so kehre man das mit Sauerstoffgas gefüllte Gläschen um und tauche schnell einen glimmen-

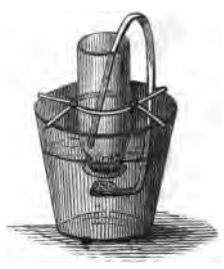
Digitized by Google

den Span hinein; er flammt hell auf; bringt man dem andern Gläschen eine brennende Flamme nahe, so entzündet sich das Wasserstoffgas. — Sind die Dräthe aus einem unedlen Metalle, so erhält man nur das Wasserstoffgas, indem das Sauerstoffgas sich sofort mit dem anderen Drathe chemisch verbindet und denselben zerfrißt (oxydirt).

b) Andere Zersetzungen. Gleich dem Wasser werden durch den galvanischen Strom auch andere chemische Verbindungen in ihre Bestandtheile zerlegt, doch würde ein tieferes Eingehen für denjenigen unfruchtbar sein, der mit den chemischen Erscheinungen überhaupt nicht vertraut ist. Wir besprechen daher nur noch:

c) Die Galvanoplastik. Aus § 181. haben wir ersehen, daß bei der Daniell'schen Kette aus dem Kupfer-Vitriol metallisches Kupfer ausgeschieden wird, welches sich an die Wände des Kupferbechers niederschlägt. Dieser Vorgang führte zu dem Gedanken, mittelst des galvanischen Stromes Nachbildungen verschiedener Gegenstände in Kupfer darzustellen. Dazu ist ein Strom von geringer aber möglichst gleichmäßiger Stärke erforderlich, den man am leichtesten in folgender von Stöckhardt in seiner Schule der Chemie angegebenen Weise darstellt.

Man überbinde die ursprüngliche Oeffnung des abgeschlagenen Halses einer Weinflasche oder die eine Oeffnung eines kurzen Lampencylinders mit feuchter Schweinsblase, welche hier die Stelle des porösen Thontopfes vertritt, und hänge diese Glasröhre mittelst der freien Enden eines um dieselbe gelegten Drathes, so daß die Blase nach unten kommt, in ein Trinkglas, welches mit einer gesättigten Lösung von blauem Kupfervitriol gefüllt ist und noch einige Krystalle dieses Salzes enthält. In den Flaschenhals gieße man sehr verdünnte Schwefelsäure (1 Theil Säure auf 15 Theile Wasser). Nun biege man einen Metallstreif, der aus einem fingerbreiten, 5 Zoll



Digitized by Google

langen Zinkblech und aus einem eben so breiten aber doppelt so langen Kupferblech zusammengelöthet ist, so wie es die Figur zeigt, und hänge ihn dergestalt in den Apparat, daß das Zink in den Flaschenhals hinabreicht, der untere wagrechte Kupferstreif aber gerade unter die Blase kommt. Dorthin lege man eine blanke Münze, z. B. einen Thaler, nachdem man den Rand mit Wachs beklebt hat. Das vermöge des galvanischen Stromes aus dem Kupfervitriol ausgeschiedene metallische Kupfer lagert sich auf der Münze ab, und bildet nach einigen Tagen einen äußerst getreuen vertieften Abdruck derselben, der sich mittelst eines Messers abheben läßt. Diesen Abdruck kann man wieder als Form gebrauchen, um ein erhabenes Abbild der Münze zu erhalten.

Will man die Münze nicht selbst in die blaue Flüssigkeit legen, so umgiebt man sie mit einem vorstehenden Rande von steifem Papier und übergießt sie mit einer in einem Blechlöffel geschmolzenen Mischung gleicher Theile Stearin und Wachs, der man etwas Schlemmkreide oder fein gepulvertes Bleiweiß zugesetzt hat. Den so erhaltenen Abdruck überzieht man mittelst eines Tuschpinsels mit einem leitenden Ueberzuge von fein geschlemmtem Graphit, und bringt ihn dann in den Apparat ein. Den Kupferstreif überzieht man, soweit er in die blaue Flüssigkeit taucht, mit Siegellack oder Wachs, damit sich an ihm kein Kupfer niederschlägt.

Holzschnitte preßt man in erweichte Gutta-Percha; die auf diese Weise erhaltene Form wird durch Ueberbürsten von Graphitpulver leitend gemacht und dann in den Apparat gesenkt. Die auf solchem Wege entstandenen Kupferplatten halten weit mehr Abdrücke aus, als die Holzschnitte selbst. — So kann man auch Kupferstichplatten auf das Genaueste nachbilden. Man erhält zunächst einen umgekehrten Abdruck, der sodann als Form benutzt wird und ein treues Abbild der ursprünglichen Platte giebt. Auch körperliche Gegenstände (Büsten, Statuen u. s. w.) werden aus Kupfer auf galvano-plastischem Wege hergestellt, indem man die einzelnen Theile derselben nachbildet und dieselben nachher verbindet.

Digitized by Google

Mittelst Anwendung einer Gold- und Silberlösung vergoldet oder versilbert man metallne Gegenstände galvano-plastisch.

§ 185. Magnetische Wirkungen des galvanischen Stromes.

1. Einwirkung des Stromes auf die Magnetnadel.

Wenn man über den Schließungsdrath einer geschlossenen galvanischen Kette eine an einem Coconfaden frei schwebende Magnetnadel hält, so wird dieselbe plötzlich zur Seite abgelenkt, so daß sie sich rechtwinkelig zu dem Strome stellt. Dasselbe geschieht, wenn man die Nadel unter den Schließungsdrath hält, doch erfolgt dann der Ausschlag der Nadel nach der entgegengesetzten Seite. Oeffnet man die Kette, so stellt sie sich wieder in ihre ursprüngliche Richtung.

Kehrt man, indem man die Enden des Schließungsdrathes mit den entgegengesetzten Polen verbindet, die Richtung des Stromes um, so folgt der Ausschlag der Nadel nach der entgegengesetzten Seite.

In dem galvanischen Strome besitzen wir demnach ein Mittel, eine Magnetnadel seitwärts zu bewegen, und, je nachdem wir den Strom leiten, können wir bestimmen, ob sie nach links oder nach rechts ausschlagen soll. Zugleich dient die Magnetnadel zur Prüfung des Vorhandenseins electrischer Ströme, welche sie durch ihr seitliches Ausschlagen sofort angiebt.

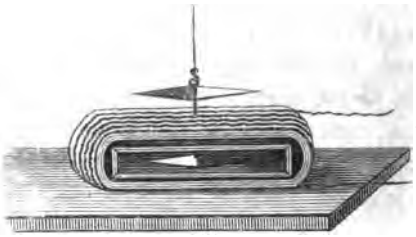
Biegt man den Schließungsdrath einer galvanischen Kette in Form eines senkrecht stehenden Rechtecks, so wirken alle Seiten desselben nach gleicher Richtung hin auf die innerhalb des Rechtecks schwebende Nadel.

Noch weit empfindlicher wird die Nadel, wenn man sie nicht mit einem einzigen, sondern mit einer großen Anzahl von Drathvierecken umgiebt. Man wickelt deshalb feinen Kupferdrath in vielfachen Windungen um einen kleinen hölzernen Rahmen, und hängt die Nadel mitten hinein. Der Drath muß dicht mit Seide besponnen sein, damit ihn der Strom seiner ganzen Länge nach

Digitized by Google

durchlaufen muß, und nicht seitwärts von einer Windung zur andern überspringen kann. Ein Apparat von der beschriebenen Art heißt ein Multiplicator, weil er die Wirkungen des galvanischen Stromes vervielfacht, oder ein Galvanometer, weil er zur Messung der Stromstärke dient, und selbst die schwächsten Ströme anzeigt.

In der Regel verbindet man zwei Nadeln dergestalt durch eine feste Axe mit einander, daß sie sich nur gemeinschaftlich drehen können, aber so, daß der Nordpol der einen über dem Südpol der andern liegt, und daß sich die eine Nadel innerhalb, die andere außerhalb der Drathwindungen befindet. Dadurch



wird nicht nur die Wirkung verdoppelt, indem durch den galvanischen Strom der Nordpol der inneren Nadel nach derselben Seite hin abgelenkt wird, wie der Südpol der äußeren; sondern es wird zugleich der den Ausschlag der Nadeln störende Einfluß beseitigt, welchen sonst der Erdmagnetismus auf die einzelne Nadel ausübt. Eine solche Vorrichtung heißt eine astatische Doppelnadel.

Die Poldräthe der galvanischen Batterie können beliebig lang sein, der mit ihnen verbundene, also in den Schließungsbogen eingeschlossene Multiplicator kann sich demnach meilenweit von der Batterie befinden: immer wird die Nadel in demselben Augenblicke, da die Kette geschlossen wird, ausschlagen. Man kann daher mittelst einer Batterie und eines Multiplicators in beliebige Entfernungen hin Zeichen geben. Befindet sich z. B. die Batterie in Berlin, der Multiplicator in Breslau, und ist der positive Poldrath von Berlin bis Breslau geführt, so daß er am

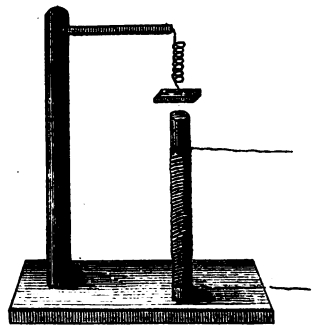
Digitized by Google

letzteren Orte mit dem einen Ende des Multiplicatordrathes verbunden ist, während der negative Poldrath ebenfalls von Berlin bis Breslau reicht, und dort mit dem anderen Ende des Multiplicatordrathes in Verbindung steht, so wird die Nadel in Breslau ausschlagen, sobald die Kette in Berlin geschlossen wird. Wie man auf diese Weise telegraphirt, werden wir § 189. erfahren.

2. Einwirkung des Stromes auf unmagnetisches Eisen.

Steckt man eine Stahlnadel in eine Glasröhre, welche mit Kupferdrath schraubenförmig umwunden ist, so wird sie in einen Magnet verwandelt, wenn man die Enden des Drathes mit den Polen einer galvanischen Batterie verbindet, und den Strom auch nur einen Augenblick hindurchgehen läßt. Sie behält ihren Magnetismus, auch wenn der Strom aufhört.

Anders verhält sich weiches Eisen. Umwickelt man einen Stab von recht weichem Eisen in zahlreichen Windungen mit übersponnenem Kupferdrath, dessen Enden man mit den Polen einer galvanischen Batterie verbindet, so erhält das Eisen eine bedeutende magnetische Kraft, sobald die Kette geschlossen wird, verliert aber seinen Magnetismus augenblicklich, wenn man die Kette öffnet. Ein solcher Magnet wird ein Electromagnet genannt. Hängt man z. B. über einem senkrecht stehenden Electromagneten ein Eisenplättchen an einer Spiralfeder auf, durch welche es in einiger Entfernung von dem Eisenstabe gehalten wird, so wird im Augenblicke der Schließung der Kette das Plättchen auf den Stab herabgezogen; öffnet man die Kette, so wird es durch die Kraft der Spiralfeder wieder emporgehoben. Dieses Anziehen und Loslassen kann man unzähligemal wiederholen. Die Dräthe aber, welche von der Batterie zu dem Electromagneten führen, können jede

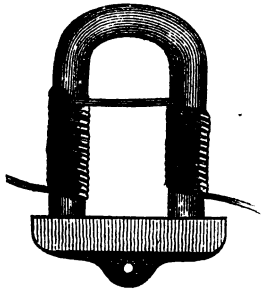


Digitized by Google

beliebige Länge haben, immer ist die Wirkung eine augenblickliche, da, wie wir wissen, der electrische Strom in einer Secunde einen Weg von 60,000 Meilen durchläuft. Denken wir uns also wieder eine Batterie von genügender Stärke in Berlin aufgestellt, in Breslau aber den Electromagneten, und zwei von Breslau nach Berlin laufende Dräthe, welche am ersteren Orte mit den Enden des den Magneten umhüllenden Kupferdrathes, in Berlin aber mit den Polen der Batterie verbunden werden können, so wird in demselben Augenblicke, da in Berlin die Kette geschlossen wird, in Breslau die Eisenplatte angezogen; sobald man die Kette öffnet, wird sie von dem Magnet losgelassen und durch die Spiralfeder in die Höhe gehoben. Der nachdenkende Leser wird einsehen, wie leicht man auf diese Weise in weite Ferne hin Zeichen geben, also telegraphiren kann. (S. § 199 ff.)

Die Electromagnete übertreffen die Stahlmagnete bei Weitem an Kraft; bei hinreichender Stärke der Batterie vermögen sie Centnerlasten zu tragen. Man hat mittelst derselben gefunden, daß nicht bloß das Eisen, sondern alle Körper dem Einflusse des Magnetismus unterliegen, und daß sie entweder von dem Magnet angezogen werden (Platin, Graphit, Holzkohle u. dgl.) oder daß derselbe eine abstoßende Wirkung auf sie ausübt (Zinn, Zink, Quecksilber, Blei, Kupfer, Silber, Gold u. a. m.). Letztere heißen diamagnetische Körper.

Gewöhnlich giebt man dem Electromagnet die Form eines Hufeisens, welches aus dem weichsten Rundeisen gemacht wird.



Den mit Seide besponnenen Drath pflegt man nicht unmittelbar auf das Eisen zu winden, sondern auf zwei Röhren von Pappe oder Holz, die genau auf die Schenkel des Hufeisens passen, und oben und unten Tellerchen haben, damit der Drath nicht abgleitet. Der Bogen des Hufeisens bleibt ohne Windungen. Wenn die eine Rolle vom Pole bis zum

Digitized by Google

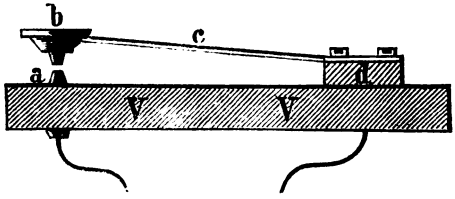
andern Ende voll ist, führt man den Drath auf die zweite über. Steht der Electromagnet auf den Füßen, so daß ihn der Drath des ersten Schenkels an seiner Vorderseite verläßt, so führt man denselben hinter dem zweiten Schenkel herum und windet von oben nach unten.

§ 186. Stromunterbrecher (Disjunctoren).

Wenn man Eisen abwechselnd in einen Electromagneten verwandeln und wieder unmagnetisch machen will, so muß man, wie wir aus dem Vorstehenden wissen, die Kette abwechselnd schließen und öffnen. Um dies zu bewirken, könnte der eine von dem Electromagneten zur Batterie reichende Leitungsdrath mit dem einen Pole fest verbunden sein, während man den andern mit der Hand hielte und ihn behufs des Schließens der Kette an den zweiten Pol andrückte, behufs der Unterbrechung des Stromes aber ihn von dem Pole entfernte.

Ein derartiges Oeffnen und Schließen der Kette würde aber sehr unbequem sein; man hat daher besondere Vorrichtungen, Stromunterbrecher oder Disjunctoren genannt, erfunden, um dasselbe in leichterer Weise zu bewirken. Sie können auf sehr mannigfaltige Art eingerichtet sein, und wir wollen einige der einfachsten Formen jetzt betrachten.

Man denke sich aus dem einen Drathe, gleichviel aus welchem, ein Stück herausgeschnitten, und in die Lücke den durch

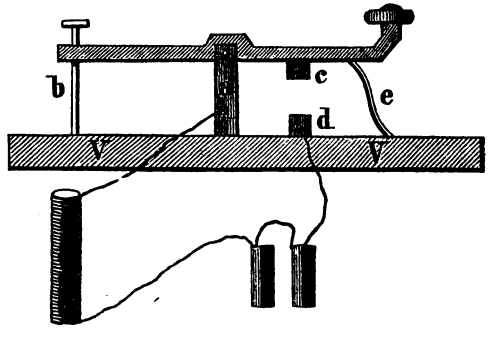


die vorstehende Figur dargestellten Apparat eingeschaltet. V V ist eine Holzplatte, an deren einem Ende ein kleiner Ambos von Metall a so eingelassen ist, daß er oben und unten vorragt. An

Digitized by Google

dem unten vorragenden Theile ist der von dem Electromagneten herkommende Drath befestiget. Ueber dem Ambos schwebt ein Metallhammer b, welcher von einer Metallfeder c getragen wird, deren hinteres Ende auf dem Block d festgeschraubt ist. Mit den Schrauben steht der von dem einen Pole der Batterie kommende Drath, indem er durch den Tisch und durch den Block hindurchgeführt ist, in leitender Verbindung. Der zweite von dem andern Pole der Batterie zum Electromagneten gehende Drath ist vollständig vorhanden. — Es kann kein electrischer Strom entstehen, weil die Verbindung unterbrochen ist, indem sich zwischen Hammer und Ambos eine Lücke befindet. Drückt man den Hammer auf den Ambos nieder, so ist die Verbindung hergestellt, der Strom kann circuliren, und der Electromagnet ist in Wirksamkeit; läßt man den Hammer los, so schnellt ihn die Feder c empor, der Strom ist unterbrochen, und der Electromagnet ist unmagnetisch.

Eben so leicht ist der zweite, hier dargestellte Stromunterbrecher zu begreifen. Auf einem hölzernen Brettchen V V steht die Metallsäule a, welche einen zweiarmigen Hebel von Messing trägt,

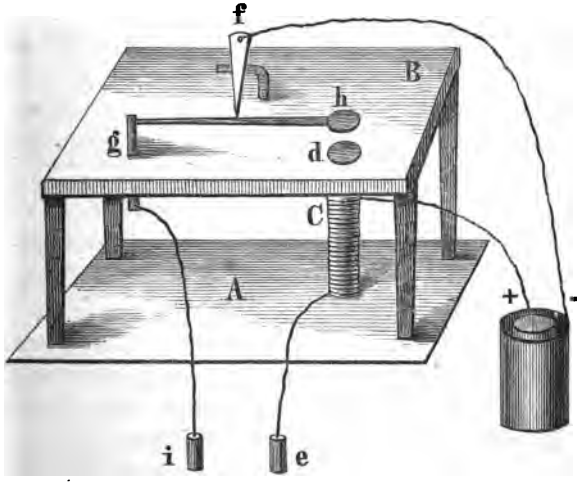


der die Gestalt eines Thürdrückers hat. Durch den linken Hebelsarm geht eine Schraube b, welche das Herabsinken desselben verhindert. Der rechte Arm hat an seiner Unterseite einen kleinen Vorsprung c, der gerade über einem kleinen Ambos von Messing d

Digitized by Google

steht. Eine auf dem Brette ruhende Feder e drückt den rechten Hebelsarm in die Höhe. Von dem wie bei dem vorigen Apparate durchschnittenen Leitungsdrathe ist ein Ende in der den Hebel tragenden Säule, das andere in dem Ambos befestigt. Zwischen beiden fehlt bei der durch die Figur dargestellten Stellung des Apparates die metallische Verbindung zwischen d und c, folglich ist der Strom unterbrochen. Drückt man aber den rechten Arm des Hebels auf den Ambos nieder, so berühren sich d und c, die leitende Verbindung ist hergestellt, die Kette also geschlossen. Die Stromunterbrecher gleichen demnach Zugbrücken, welche, wenn sie aufgezogen sind, die Verbindung hemmen, sie aber herstellen, sobald sie niedergelassen werden.

Schon oben (§ 182) wurde angedeutet, daß die Einwirkung des galvanischen Stromes auf den menschlichen Körper bedeutend verstärkt werde, wenn man die Kette möglichst rasch nach einander wiederholt öffne und schließe. Dazu dient ebenfalls ein Stromunterbrecher, der aber so beschaffen sein muß, daß er die Kette für sich allein fortwährend öffnet und schließt. Einen derartigen einfachen Apparat, der sich bei Zahnschmerz, Rheuma-



Digitized by Google

tismus und Lähmungen sehr wirksam erweiset, stellt die Figur auf S. 437 dar.

Auf einem Brette A steht ein kleines hölzernes Tischchen B; C ist der Electromagnet, ein Stab von weichem Eisen, der bei d durch eine Oeffnung in der Tischplatte vorragt. Der vom positiven Pole der Batterie (+) kommende Drath umwindet den Electromagneten, und trägt an seinem frei herabhängenden Ende den hohlen Messingcylinder e. Vom negativen Pole der Batterie (—) geht ein Drath bis zu dem Messingsäulchen f, welches durch einen Bügel an den Tisch befestigt ist, und unten eine feine Platinspitze hat. Das durch den Tisch gesteckte Messingsäulchen g trägt eine Kupferfeder, welche in der Ruhelage die Platinspitze von f berührt, und an deren freiem Ende h gerade über dem Electromagneten ein Eisenplättchen befestigt ist. An dem unteren Ende von g ist ein Drath angebracht, an welchem der Messingcylinder i hängt.

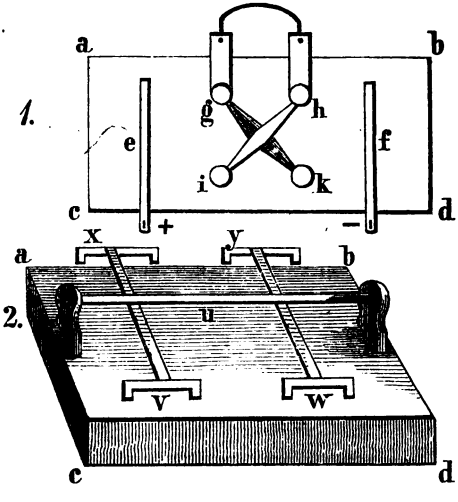
Faßt man nun mit feuchten Händen die Cylinder e und i, so ist die Kette geschlossen; der positive Strom fließt von + nach dem Electromagneten, gelangt nach e, durch den menschlichen Körper nach i, von dort nach g und durch f zum negativen Pole —. Der Electromagnet C zieht nun das Eisenplättchen h an. (Man denke sich in voriger Figur h d auf einander liegend.) Jetzt ist der Strom unterbrochen, weil die Feder von der Platinspitze entfernt ist, und das Plättchen h, welches nicht mehr angezogen ist, wird durch die Feder in die Höhe geschnellt. Dadurch kommt diese aber wieder in Berührung mit der Platinspitze von f, der Strom ist wieder geschlossen, h wird herabgezogen, der Strom ist unterbrochen — und so geht das Oeffnen und Schließen mit außerordentlicher Schnelligkeit fort. Bei jedem Schließen und Unterbrechen aber fühlt der in den Strom eingeschlossene Mensch eine Erschütterung. Soll dieselbe bestimmte Theile des Körpers treffen, so werden die Messingcylinder an diese durch eine zweite Person gehalten, welche ihre Hände durch seidne Handschuhe nichtleitend gemacht hat.

Digitized by Google

§ 187. Stromwechsler oder Stromwender (Commutatoren, Gyrotropen).

Wenn eine Magnetnadel durch den galvanischen Strom dergestalt erregt werden soll, daß sie das einemal nach links, das anderemal nach rechts ausschlägt, so muß, wie uns § 185, 1. gezeigt hat, der Strom umgekehrt werden. Sollte dies jedesmal durch Vertauschung der Poldräthe bewirkt werden, so würde es mit großer Unbequemlichkeit verbunden sein; man hat deshalb für diesen Zweck besondere Einrichtungen getroffen, welche Stromwechsler oder Stromwender (Commutatoren oder Gyrotropen) heißen. Gleich den Stromunterbrechern können sie auf sehr verschiedene Weise construirt sein. Wir betrachten einige der verständlichsten Formen.

In Fig. 1. ist abcd ein Brett, auf welchem die Kupfer- oder Messingstreifen e und f und die Messingplättchen g, h, i

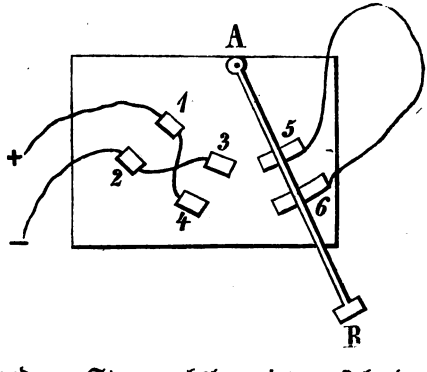


und k befestigt sind. Von i nach h führt ein Drath oder ein Metallstreif, desgleichen von k nach g, diese dürfen sich aber an der Kreuzungsstelle nicht berühren, sondern müssen dort isolirt sein. Bei + ist der positive, bei — der negative Poldrath

Digitized by Google

einer Batterie befestiget, der Leitungs- (Schluß-) Drath aber verbindet g und h. Die Kette ist offen, denn es giebt keinen Metallweg von e nach g oder i, desgleichen fehlt die Verbindung zwischen f und h oder k.

Nun geht aber quer über das Brett von links nach rechts eine hölzerne Welle u (Fig. 2) mit zwei hölzernen Querarmen, welche die Metallgabeln v, w, x, y tragen. Drückt man nun die vorderen Gabeln v und w nieder, so legt sich der linke Gabelarm von v auf e, der rechte auf i; von der Gabel w kommt der linke Arm auf k, der rechte auf f zu liegen. Auf diese Weise ist die Kette geschlossen; der + Strom fließt von e über die Gabel v nach i, von dort nach h durch den Leitungsdrath nach g, und über k mittelst der Gabel w nach f. — Stellt man die Gabeln wagrecht, so ist der Strom unterbrochen. — Drückt man aber die Gabeln x und y nieder, so fließt er in entgegengesetzter Richtung: e, Gabel x, g, Leitungsdrath, h, Gabel y nach f. — Im ersten Falle wird mithin der Leitungsdrath in der Richtung von h nach g, im letzteren in der Richtung von g nach h durchflossen, und eine in den Leitungsdrath (mittelst eines Multiplicators) eingeschlossene senkrechte Magnetnadel wird das einemal nach links, das anderemal nach rechts ausschlagen.



Einen anderen Stromwechsler zeigt vorstehende Figur. Auf einem Brette sind sechs (in der Figur durch Zahlen bezeichnete)

Digitized by Google

Messingplättchen in zwei parallelen Bogenlinien befestigt, ohne einander zu berühren; mit 1 ist der +, mit 2 der — Poldrath der Batterie verbunden. Von 1 nach 4 führt ein Drath, desgleichen von 2 nach 3; sie sind an der Kreuzungsstelle isolirt. AB ist ein um A beweglicher hölzerner Hebel, durch welchen zwei in der Figur nicht dargestellte, den Gabeln v und x in Fig. 2. auf S. 439 ähnliche Messingarme dergestalt gehen, daß, wenn der Hebel nach rechts bewegt wird (wie ihn die Zeichnung darstellt), die niedergebogenen Enden des oberen Armes die Platten 3 und 5, die des unteren aber die Platten 4 und 6 berühren. Nun geht der + Strom über 1, 4, den unteren Messingarm, 6, den Leitungsdrath, 5, den oberen Messingarm, 3 und 2 zum negativen Pole der Batterie. Die senkrechte, in den Leitungsdrath eingeschlossene Magnetnadel schlägt nach rechts aus. — Stellt man den Hebel AB senkrecht, so treffen die Enden seiner Querarme zwischen die Metallplatten, die Kette ist offen, und die Magnetnadel steht senkrecht. — Bewegt man aber den Hebel nach links, so ruhen die Enden seiner Querarme auf den Metallplatten 1 und 5, 2 und 6. Jetzt fließt der + Strom von 1 durch den oberen Querarm nach 5, da er in der Richtung von 1 nach 4 nicht fortkann; von 5 geht er durch den Leitungsdrath nach 6, durch den unteren Querarm nach 2 und zum — Pole. Die Magnetnadel schlägt jetzt nach links aus. Der Leitungsdrath wurde im ersten Falle in der Richtung von 6 nach 5, im letzteren von 5 nach 6 durchflossen.

§ 188. Die electromagnetische Telegraphie.

Schon seit alten Zeiten war man auf Mittel bedacht, durch welche man Nachrichten möglichst schnell in weit entlegene Gegenden befördern und aus diesen erhalten konnte. Man pflanzte z. B. in Kriegszeiten auf Bergen Stangen auf, die mit brennbaren Stoffen umhüllt waren, und zündete sie an, sobald sich der Feind näherte, damit die Bewohner des Landes sich zur Vertheidigung oder zur Flucht anschicken konnten. (Noch 1813 wurde in Schlesien von dergleichen sogenannten Lärmstangen Ge-

Digitized by Google

brauch gemacht, um den Landsturm zusammenzurufen.) Den Schiffen einer Kriegsflotte werden durch verschiedenartig zusammengestellte farbige Flaggen, an deren Stelle bei Nacht farbige Laternen treten, Signale von dem Admiralschiffe aus ertheilt. Die Befehlshaber verbündeter aber durch einen weiten Raum getrennter Heere benachrichtigen einander durch aufsteigende Raketen von dem Erfolge der verabredeten Unternehmungen.

Zur Zeit der französischen Revolution wurde der erste wirkliche Telegraph, d. h. Fernschreiber, erfunden. Es war ein optischer, d. h. für das Auge bestimmter. Auf dem Dache eines hoch gelegenen Hauses errichtete man eine hohe Stange, an deren Spitze ein zweiarmiger Hebel seinen Umdrehungspunkt hatte. An jedem Ende des Hebels war noch eine Stange beweglich befestiget. Durch Schnüre vermochte man diese Hebelsarme in verschiedene Stellungen zu bringen, von denen jede einen Buchstaben bedeutete. Ein eben solcher Telegraph wurde in einer Entfernung errichtet, von der aus man den vorigen mittelst eines Fernrohres beobachten konnte, und so wurden ganze Telegraphen-Linien von einer wichtigen Stadt zur andern angelegt. Jedes von dem ersten Telegraphen gegebene Zeichen ahmte der zweite nach, dann der dritte u. s. f., und erst, wenn der Telegraphist der ersten Station sich überzeugt hatte, daß das von ihm gegebene Zeichen auf der zweiten Station nachgeahmt sei, ging er zu dem folgenden Zeichen über. Die Schnelligkeit, mit welcher diese Fernschrift fortgepflanzt wurde, war schon recht bedeutend, allein bei Nebel, Regen und zur Nachtzeit konnte der Telegraph nicht benutzt werden.

Optische Telegraphen finden wir noch immer fast an allen deutschen Eisenbahnen. Sie haben in der Regel nur zwei Arme, welche einzeln oder gemeinschaftlich aufgerichtet, wagrecht gestellt oder niedergelassen werden können; bei Nacht werden sie beleuchtet. Durch diese Telegraphen wird besonders die Ankunft und der Abgang der Züge signalisirt.

Einen außerordentlichen Fortschritt machte die Telegraphie, als sie die galvanische Electricität in ihren Dienst zu nehmen lernte.

Digitized by Google

Die electromagnetische Telegraphie beruht auf der in den vorigen §§ erwähnten Entdeckung, daß der galvanische Strom in einem merkwürdigen Zusammenhange mit dem Magnetismus stehe. Es sind besonders drei Formen im Gebrauche: Nadel, Zeiger- und Drucktelegraphen, die wir jetzt einzeln betrachten wollen.

§ 189. Der Nadel-Telegraph.

Das Verständniß desselben ist durch die vorigen §§ vollständig vorbereitet. Auf Station I. steht die Batterie sammt dem § 187. Fig. auf S. 440 dargestellten Stromwechsler; auf Station II. aber, nach welcher telegraphirt werden soll, befindet sich der Multiplicator mit senkrechter Doppelnadel. Die freien Enden des Multiplicator-Drathes sind mit den Enden der Poldräthe, das eine mit dem +, das andre mit dem —, verbunden.

Bewegt nun der Telegraphist auf Station I. den Hebel des Stromwechslers nach rechts, so schlägt auf Station II. die Nadel nach rechts aus; bewegt er ihn nach links, so schlägt sie nach links aus; stellt er ihn senkrecht, so steht auch die Nadel senkrecht still.

Nun ist ein telegraphisches Alphabet festgestellt. Ein Ausschag der Nadel nach links bedeutet den Buchstaben A, zwei Ausschläge nach links heißen B u. s. w., wie es die nachstehende Tabelle zeigt.

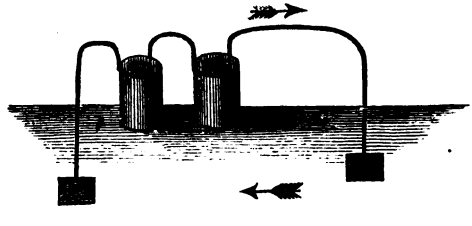
A = links (l.)	P = r. l.
B = l. l.	Q = r. l. l.
C = l. l. l.	R = r. l. l. l.
D = l. l. l. l.	S = r. l. r.
E = l. r.	T = r. l. l. r.
F = l. l. r.	U = r. l. r. l.
G = l. l. l. r.	V = r. r. l.
H = l. r. l.	W = r. r. r.
I = l. r. r.	X = r. r. r. l.
K = l. r. r. l.	Y = r. l. r. r.
L = l. l. r. l.	Z = r. r. l. r.
M = l. l. r. r.	
N = l. r. r. r.	
O = l. r. l. r.	

Digitized by Google

Hat sowohl der die Zeichen gebende, als der dieselben empfangende Telegraphist diese Tabelle vor sich, so ist das Geschäft des Telegraphirens so leicht, daß es durch ein verständiges Kind besorgt werden kann. Die Tabelle ist so eingerichtet, daß alle Buchstaben, für deren Bezeichnung der erste Ausschlag nach links erfolgt, in der linken, die aber, für welche die Nadel zuerst nach rechts ausschlagen muß, in der rechten Säule stehen. Daß die Bezeichnung der Buchstaben auch eine andere sein kann, ist selbstverständlich.

Für jetzt haben wir nur den Fall im Auge gehabt, daß von Station I. nach II. telegraphirt wird; es sollen aber auch von II. nach I. Nachrichten gesendet werden. Daher ist auf Station II. ebenfalls eine Batterie und ein Stromwechsler, auf Station I. aber auch eine Nadel vorhanden, welche in die allgemeine Leitung eingeschaltet sind. Arbeitet nun der Telegraphist auf einer Station, so zeigt seine Nadel dieselben Bewegungen, welche die Nadel auf der andern Station macht.

Noch ist ein sehr wichtiger Umstand für alle Arten der electromagnetischen Telegraphen zu erwähnen. Wir haben bisher immer angenommen, daß der Leitungsdrath von Station I. zu Station II. und von Station II. wieder zu Station I. zurückführe. Man hat aber die merkwürdige Entdeckung gemacht, daß der zurückkehrende Drath, mithin die Hälfte der Drathleitung — also auch die Hälfte der Kosten derselben — erspart werden kann, indem der feuchte Erdboden die Rückleitung des galvanischen Stromes übernimmt. So auffallend dies erscheint, so ist es doch unzweifelhaft wahr und bei allen Telegraphen in Ausfüh-



Digitized by Google

rung gebracht. Denken wir uns den zurückkehrenden Drath im Erdboden zurückgeführt, so können wir ihn an beiden Stationen abschneiden, und an jedes der in das feuchte Erdreich hinabreichenden Enden eine große Kupferplatte anlöthen: der feuchte Boden leitet den Strom von einer Platte zur andern zurück, ebensogut, ja noch besser, als wenn ein Drath vorhanden wäre.

Im ersten Augenblick drängt sich gewiß einem Jeden die Frage auf: Warum verfehlt die Electricität niemals ihren Weg? Könnte sie sich nicht in dem weiten Erdboden nach irgend einer falschen Richtung verirren, und den Weg zu ihrem Ausgangspunkte nicht mehr wieder finden? — Zur Hebung dieser Bedenken erinnern wir uns, daß, so lange nicht eine vollständige Leitung vorhanden ist, gar kein electrischer Strom entsteht. Ist die Drathleitung, die wir uns wieder als eine doppelte denken wollen, an irgend einem Punkte zerrissen oder durch einen Disjunctor (§ 186) unterbrochen, so wird keine Electricität frei. „Gleich einem vorsichtigen Feldherrn macht sie sich nicht „eher auf den Weg, als bis sie auch für den Rückzug gesorgt „hat.“ Sie wird demnach ihren Lauf auf dem oberen Drathe nicht antreten, wenn ihr der Rückweg nicht gesichert ist, und der Strom kann keinen andern Weg einschlagen, als zu der Batterie zurück, von welcher er ausgegangen ist. Daß aber der Erdboden und das Wasser gute Leiter sind, haben wir schon bei der Maschinen-Electricität gesehen. — Daher genügt auch bei Telegraphen, welche die Ufer großer Ströme, Seen oder Meerestheile verbinden, ein einziger Leitungsdrath, der, in Gutta-Percha oder einen anderen Isolator gehüllt, in das Wasser gesenkt wird, und zwar in eine Tiefe, bei der er vor Fischernetzen, Schiffen, Ankern und großen Seethieren sicher ist. Die Metallplatten werden an beiden Ufern ganz einfach ins Wasser gesenkt, und dieses übernimmt die Stelle des fehlenden zweiten Drathes.

§ 190. Der Zeiger-Telegraph.

Auf vielen Eisenbahnen sind, namentlich für den Bahnbetrieb selbst, Zeiger-Telegraphen im Gebrauch, d. h. solche, bei

Digitized by Google

denen ein Zeiger die Buchstaben andeutet, welche telegraphirt werden. Da Wissenschaft und Kunst in stetem Fortschreiten begriffen sind, so werden auch für die Telegraphie fortwährend neue und vollkommnere Apparate erfunden. Wir können daher auch nicht eine allgemein gültige Beschreibung der Zeiger-Telegraphen geben, sondern wir wollen nur zeigen, wie ein solcher construirt sein *kann*. So verschieden auch die Einrichtungen im Einzelnen sind, so beruhen sie doch sämmtlich auf der § 185, 2. besprochenen Erfahrung, daß weiches Eisen durch den galvanischen Strom in einen Electromagneten verwandelt, durch Unterbrechung des Stromes aber sofort wieder unmagnetisch wird, daß also mittelst des Galvanismus ein beliebig weit entfernter Electromagnet veranlaßt werden kann, ein ihm nahe liegendes Stück Eisen bald anzuziehen, bald loszulassen, und daß die Bewegung dieses Eisens (der Armatur des Magneten) in verschiedenster Weise auf andere Gegenstände übertragen und fortgepflanzt werden kann.

1. Beschreibung eines einfachen Apparates für Zeigertelegraphen.

Denken wir uns zunnächst die Sache so einfach als möglich. Es soll von Station I. nach Station II. telegraphirt werden. Daher steht auf Station I. eine Vorrichtung, mittelst welcher die Zeichen *gegeben* werden, der *Zeichengeber* oder kurzweg der *Geber*, auf Station II. aber befindet sich ein Apparat, welcher die Zeichen *bringt*, der *Zeichenbringer* oder kurz: der *Bringer*. Wir betrachten letzteren zuerst.

a) Der Zeichenbringer.

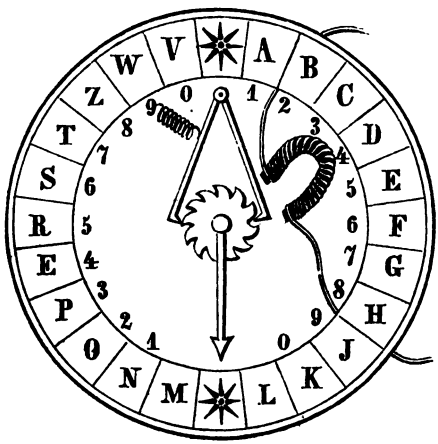
Wir erblicken eine Tafel, welche ganz dem Zifferblatt einer Stutzuhr gleicht, deren Umkreis aber in 24 gleiche Theile getheilt ist. Das oberste und das unterste Feld enthalten einen Stern, in den übrigen Feldern sind die Buchstaben des Alphabets vertheilt, so daß im rechten Halbkreise von oben bis unten die Buchstaben A bis L, im linken von unten nach oben die Buchstaben MNOPERSTZWV stehen. (E ist zweimal da, weil [illegible] so

Digitized by Google

oft vorkommt, statt U gilt V, ausgelassen sind Q, X und Y, die durch K, Ks und I ersetzt werden.) In der Mitte der Tafel ragt die Welle eines Rades vor, und trägt einen Zeiger, der von Buchstabe zu Buchstabe ruckweise fortschreitet, wenn telegraphirt wird, bei dem Buchstaben, welcher gemeint ist, aber einen Augenblick anhält. Am Ende eines Wortes wird eine längere Pause gemacht.

Wenn der Apparat in Ruhe ist, steht der Zeiger auf dem oberen Sterne. Soll nun z. B. das Wort „Abend“ telegraphirt werden, so springt der Zeiger auf **A**; hier hält er einen Augenblick still; nun springt er auf **B** und hält abermals; jetzt kommt in rascher Aufeinanderfolge **CDE** — Halt; — **FGH IKLMN** — Halt! — **OPERSTZWV** Stern **ABCD** — Halt! — In dieser Weise wird jedes Wort buchstabirt.

Wie wird nun aber der Zeiger in Bewegung gesetzt? — Dies zeigt uns die nachstehende Figur, auf welcher die Zeichentafel durchsichtig dargestellt ist, so daß wir das sonst hinter ihr



Verborgene erblicken. An der Axe, welche den Zeiger trägt, befindet sich ein Rad mit 12 Zähnen, in welches ein um seinen Winkelpunkt beweglicher eiserner Uhranker mit seinen beiden Haken

Digitized by Google

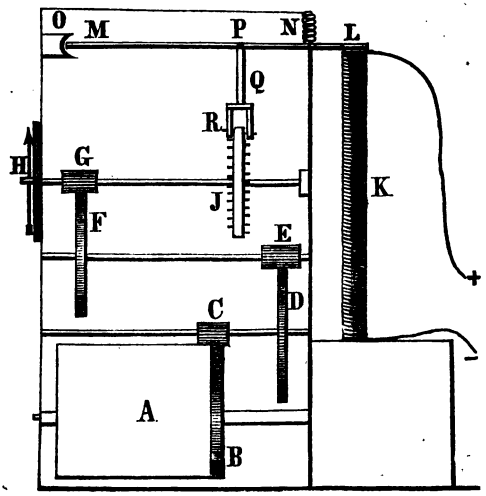
(Stollen) abwechselnd eingreift. Die Figur zeigt uns, wie so eben der rechte Stollen zwischen zwei Zähnen liegt, während der linke ausgehoben ist. In der Nähe des rechten Ankerarmes erblicken wir den Electromagneten; der linke Arm wird durch eine Spiralfeder von dem Rade abgezogen, wodurch der rechte Arm fest zwischen die Zähne gedrückt wird. — So ist die Stellung des Apparats, wenn kein Strom den Electromagnet durchfließt, wenn also die Kette offen ist. Wird der Strom durch den Telegraphisten auf Station I. geschlossen, so zieht der Electromagnet auf Station II. den rechten Ankerarm an und hebt ihn aus, der linke Stollen fällt zwischen zwei Zähne, und bewegt das Rad so weit von links nach rechts, daß der Zeiger um ein Feld fortrückt. Wird nun der Strom unterbrochen, das Hufeisen also unmagnetisch, so gewinnt die Spiralfeder die Oberhand, hebt den linken Stollen aus und zieht den rechten an das Rad, welches dadurch wieder so weit bewegt wird, daß der Zeiger ein Feld weiter rückt. Mit vier und zwanzig solchen Bewegungen ist der einmalige Umgang des Rades, also auch des Zeigers vollendet.

So einfach ist nun freilich der Zeichenbringer gewöhnlich nicht eingerichtet. Der galvanische Strom würde sehr stark sein müssen, wenn er dem Anker die zum Fortbewegen des Rades erforderliche Kraft mittheilen sollte. Es ist daher ein Uhrwerk angebracht, welches das Rad in Bewegung setzt. Allenfalls würde schon ein Gewicht genügen, dessen Schnur um die Axe des Rades gewickelt wäre, und welches auf der rechten Seite des Rades herabhinge. Das Rad würde nun das Bestreben haben, sich von links nach rechts zu drehen, es würde aber durch den Anker zu einem ruckweisen Fortschritte genöthigt werden. Der Electromagnet und die Spiralfeder wirkten dann nicht mehr bewegend, sondern hemmend auf das Rad. — Statt des unbequemen und viel Fallraum beanspruchenden Gewichtes wendet man lieber eine elastische Feder an, welche ganz wie die treibende Feder der Taschen- und Stutzuhren in einem Federhause (s. A in Fig. auf S. 449) eingeschlossen ist, durch Aufziehen gespannt

Digitized by Google

wird und durch ihr Bestreben, sich auszudehnen, das Federhaus (die Trommel) dreht. An der Trommel ist ein gezahntes Rad (B), welches in ein Getriebe (C) greift. An der gleichen Axe befindet sich ein zweites gezahntes Rad (D), welches in ein zweites Getriebe (E) greift, an dessen Axe sich ein drittes gezahntes Rad (F) befindet. Dieses wirkt mittelst eines dritten Getriebes (G) auf die Welle, an der sich vor dem Zifferblatte der Zeiger (H), hinter demselben aber das Steigrad (J) befindet, in welches der Anker als Hemmung eingreift. Würde der Anker hinweg genommen, so würde das Steigrad mit größter Geschwindigkeit umlaufen; durch denselben aber wird seine Bewegung regulirt.

Bei den mit einem in beschiebener Weise eingerichteten Uhrwerk versehenen Zeichenbringern ist die Hemmung oft anders construirt, als die Fig. auf S. 447 dargestellte. So ist es z. B. bei vielen für den Bahnbetrieb bestimmten Zeigertelegraphen der Niederschlesisch-Märkischen Bahn der Fall. Nahe über den Polen eines senkrecht stehenden Electromagnets (K) liegt eine Eisenplatte (L), welche von einem zweiarmigen Hebel (L M) getragen wird. Eine Spiralfeder (N) zieht den rechten Hebelsarm in die Höhe, doch

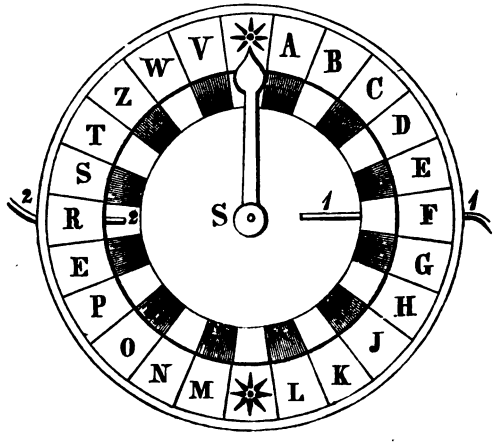


Digitized by Google

gestattet ihr eine das Ende des linken Hebelsarmes umfassend Klammer (O) nicht, ihn zu hoch zu heben. Wird der Stro geschlossen, so zieht der Electromagnet die Eisenplatte an, u der rechte Hebelsarm senkt sich; wird der Strom unterbroche so zieht ihn die Feder in die Höhe. Von dem Umdrehungs punkte (P) des Hebels geht ein senkrechter Stab (Q) herab, we cher unten eine zweizähnige Gabel (R) trägt, die den Umkre des Hemmungsrades (J) zwischen sich faßt. Dies ist aber ka Stirnrad, sondern ein Kronenrad (§ 37). Auf jeder Sei seiner Peripherie hat es 12 mit der Welle parallele Zapfen, d so geordnet sind, daß die der rechten Seite in den Zwischenrä men derer von der linken Seite stehen. Spielt nun der Heb LM auf und nieder, so macht gleichzeitig die Gabel R kleine Bewegungen nach links und rechts, und hält immer abwechselnd einen Zapfen der linken und einen Zapfen der rechten Seite an, wobei jedesmal der an der Axe des Rades befindliche Zeiger H um einen Buchstaben fortrückt.

b) Der Zeichengeber.

Er befindet sich auf Station I. und ist ein Stromunterbrecher (§ 186). Auch hinsichtlich dieses Apparates herrscht



Digitized by Google

die größte Verschiedenheit. Er kann z. B. in folgender Weise construirt sein (s. Fig. auf voriger Seite).

Die Scheibe mit dem Buchstabenringe ist der des Bringers gleich. In der Figur ist sie durchsichtig gedacht, so daß man die im Apparate von ihr verdeckten Theile sehen kann. Wir erblicken demnach innerhalb des Buchstabenringes eine Scheibe S von Messing oder Kupfer, die am äußeren Rande in eben so viele Felder getheilt ist, als der Buchstabenring, und zwar ist immer zwischen je zwei Metallfedern ein mit Holz oder Elfenbein ausgelegtes (in der Zeichnung weißgelassenes) Feld. In dem Mittelpunkte der besprochenen Metallscheibe S steckt ein Stift, welcher einen Zeiger trägt; wird nun letzterer gedreht, so dreht sich die ganze Scheibe mit. An dieser Scheibe aber schleifen die beiden Leitungsdräthe, und zwar der eine (der nach rechts gehende mit 1 bezeichnete) so, daß er stets mit dem Metall der Scheibe in Berührung ist, der andere (2) so, daß er gerade den Umring berührt, also bald mit Metall, bald mit Holz (Elfenbein) in Verbindung steht. Ist Letzteres der Fall, so ist der Strom unterbrochen, im ersten Falle aber ist er hergestellt. Befindet sich der Apparat in Ruhe, steht also der Zeiger auf dem oberen Sterne, so berührt der zuletzt erwähnte Drath Holz, also ist der Strom unterbrochen. Dreht man den Zeiger auf A, so kommt der Drath auf Metall, der Strom ist hergestellt, und der Zeiger des Zeichenbringers auf Station II. springt ebenfalls auf A. Rückt man den Zeiger des Gebers auf B, so kommt der Drath auf Holz (Elfenbein), der Strom wird unterbrochen, und der Zeiger des Bringers springt auf B u. s. f. Was also der Geber auf Station I. zeigt, dies zeigt auch allemal der Bringer auf Station II. — Nur Eins wollen wir noch erwägen. Wenn der Telegraphist den Zeiger des Gebers nach links drehte, also rückwärts, der Ordnung der Zeichen entgegen, so würde der Zeiger des Bringers, der sich nicht links drehen kann, vorwärts gehen, und die beiden Apparate stimmten nicht mehr überein. Daher ist durch eine Sperrvorrichtung das Rückwärtsdrehen der Kupferscheibe S in der Fig.

Digitized by Google

auf S. 450 (mithin auch des Zeigers) verhindert. — In dieser Weise ist der Geber aus den meisten Stationen der Niederschlesisch-Märkischen Bahn eingerichtet.

Es giebt aber auch Zeichengeber, welche, wie dies bei dem Bringer (Fig. S. 449) beschrieben wurde, durch ein Uhrwerk in Bewegung gesetzt werden, so daß der Telegraphirende den Zeiger nicht selbst zu drehen hat. Bei dieser Einrichtung liegt der Zeiger unterhalb des Buchstabenringes. Jeder Buchstabe steht auf einer Taste, welche sich niederdrücken läßt, und dann den Zeiger hemmt. Wenn der Apparat still steht, so zeigt der Zeiger auf den oberen Stern, und ist dort durch einen Stift gehemmt. Soll das Telegraphiren beginnen, so wird dieser Stift ausgezogen, und nun läuft der Zeiger, von dem Uhrwerk getrieben, rasch im Kreise um, in oben beschriebener Weise stets den Strom abwechselnd schließend und unterbrechend. Der Beamte aber drückt die Taste nieder, auf welcher der zu telegraphirende Buchstabe steht, und hemmt dort den Umlauf des Zeigers für einen Augenblick; er drückt also, indem er in Gedanken buchstabirt, auf einen der gemeinten Buchstaben nach dem andern. Schließt die Depesche, so hält er den Zeiger auf dem Sterne durch Einstecken des Stiftes an.

2. Das Hin- und Zurück-Telegraphiren zwischen zwei Stationen.

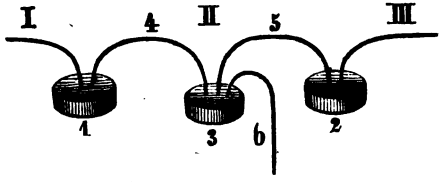
Um des leichteren Verständnisses willen haben wir bis jetzt angenommen, es solle nur von Station I. nach Station II. telegraphirt werden. Station II. muß aber auch im Stande sein, nach I. zurückzusprechen. Es ist zu diesem Behufe auf jeder der beiden Stationen sowohl ein Zeichengeber als ein Zeichenbringer vorhanden, die in den Zirkel des Stromes eingeschaltet sind. Obgleich eine einzige kräftige Batterie für beide Stationen ausreicht, so ist doch gewöhnlich auf jeder Station eine solche vorhanden.

3. Verbindung mehrerer Stationen.

In der Regel sind mehr als zwei Stationen mit einander verbunden. Hierbei ist nur noch zu erklären, wie St. II.

Digitized by Google

bald mit St. I., bald mit St. III. correspondiren, wie aber auch St. I. direct nach St. III. hinrufen kann und umgekehrt. — Sind alle Stationen verbunden, so gelangt auch die von einer derselben gesendete Depesche nach allen Stationen. Soll aber



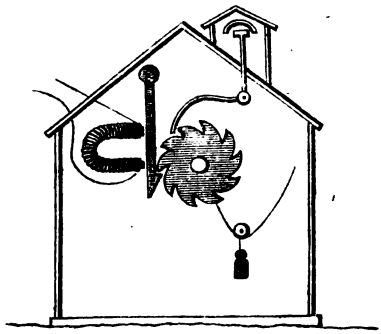
eine Nachricht nur von I. nach II. gehen, so bezeichnet der Telegraphist zunächst diese Station. Dort, wie auf allen Zwischenstationen, geht der von links kommende Leitungsdrath in das Queckfilbernäpfchen 1, der von rechts kommende in das Queckfilbernäpfchen 2, aus jedem dieser Näpfchen aber führt ein kurzer, federnder Drath (4 und 5) in das Queckfilbernäpfchen 3, in welches zugleich der zu dem Apparate für St. II. führende Drath 6 taucht. Durch eine einfache Vorrichtung hebt der Beamte auf St. II. den aus 3 nach 2 führenden, also die Verbindung mit St. III. herstellenden Drath aus, und der Strom circulirt nur zwischen St. I. und II. Soll von III nach II. oder umgekehrt telegraphirt werden, so wird der Drath zwischen 1 und 3 ausgehoben. Soll aber unmittelbar von I. nach III. eine Depesche gelangen, so hebt der Telegraphist auf St. II. den Drath 6 aus dem Näpfchen, und unterbricht dadurch seine Verbindung mit beiden Nachbarstationen, so daß diese in unmittelbaren Zusammenhang treten.

4. Der Weck-Apparat.

Auf vielen Telegraphen-Linien wird der Beginn einer Depesche durch eine Glocke verkündet, namentlich zur Nachtzeit. Für diesen Zweck ist an dem Apparat-Schranke ein besonderer Electromagnet angebracht, welcher mit der Hauptleitung in Verbindung steht. Demselben gegenüber befindet sich ein Stirnrad, um dessen Welle die Schnur eines Gewichtes gewunden ist. Wenn sich das Rad dreht, so stoßen seine Zähne an den einen Arm

Digitized by Google

eines Winkelhebels, dessen anderer Arm den im Innern einer Glocke befindlichen Klöpfel trägt und denselben in Bewegung



setzt, so daß die Glocke so lange tönt, bis das Gewicht abgelaufen ist. Das Stirnrad ist aber durch einen eisernen Sperrhaken gehemmt, der den Polen des Electromagneten ganz nahe liegt. Dieser zieht, sobald der Strom geschlossen wird, den Sperrhaken an, und macht dadurch das Rad frei, so daß es, vom Gewicht gezogen, seinen Umlauf beginnt.

5. Die Läutewerke.

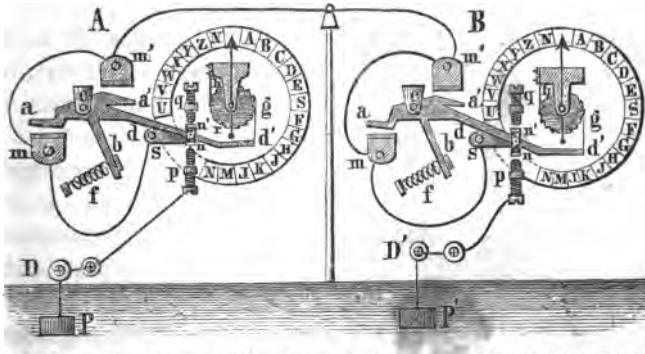
Ganz ähnlich sind die in den Wärterbuden befindlichen Läutewerke eingerichtet. Die großen Glocken ertönen, wenn ein Eisenbahnzug auf einer Station ankommt oder abgeht. Der gewöhnliche Strom ist zu schwach, um die Sperrhaken der Läutewerke auszuheben. Sollen daher die Glocken angeschlagen werden, so verbindet der Telegraphist mit der Hauptbatterie eine Hülfsbatterie, und durch den mittelst der beiden vereinigten Batterien verstärkten Strom werden die Sperrhaken ausgelöset. — Wie bei den Weckapparaten, so muß auch bei den Läutewerken das Gewicht nach erfolgtem Signale wieder aufgezogen werden.

6. Der Zeiger-Telegraph von Siemens und Halske.

Die nachstehende Figur erläutert die Einrichtung dieses sinnreichen Apparates, bei welchem Zeichengeber und Zeichenbringer

Digitized by Google

in Einer Vorrichtung verbunden sind. m m' sind die Pole des Electromagneten. Um den Punkt c ist der eigenthümlich geformte Anker a a' drehbar, welche noch zwei Arme, b und d d' hat. Bei hergestelltem Strome wird a und a' von den Polen angezogen, bei unterbrochenem Strome aber durch die Feder f von



denselben abgezogen. Mit dem Hebelsarme d d' ist bei d' der Haken g verbunden, welcher in die Zähne des Stirnrädchens r greift, und bei jedem Hin- und Hergange des Hebels d d' einen Zahn fortzieht, wodurch zugleich der mit der Axe des Rades verbundene Zeiger um einen Buchstaben weiter bewegt wird. Eine rückgängige Bewegung des Rades hindert der Sperrhaken h.

Die abwechselnde Schließung und Unterbrechung des Stromes wird durch einen um s drehbaren Metallstreif bewirkt, welcher an seinem freien Ende eine kleine metallne Brücke mit zwei senkrechten Backen n n' trägt. Oberhalb n' befindet sich die mit dem Strome nicht verbundene Schraube q, welche nur den Zweck hat, ein zu weites Ausschreiten der Brücke zu hindern, — unterhalb n aber die mit der Batterie in Verbindung stehende Schraube p. Wenn sich der Hebel d d' auf und nieder bewegt, so stößt er mit seinem Querstiftchen o auch die Brücke n n' auf und nieder.

Wir betrachten nun die Drathleitung. D und D' sind die Batterien, P und P' die Erdplatten. Auf Station A steht die Erdplatte P mit dem positiven, auf Station B aber die Erd-

Digitized by Google

platte P' mit dem negativen Pole der betreffenden Batterie in Verbindung. Wenn nun n mit der Schraube p in Verbindung tritt, so ist der Strom geschlossen. Er fließt von dem positiven Pole der Batterie auf Station B nach der Schraube p, von dort über n und s in den Electromagneten, gelangt hierauf nach Station A, umfließt den dasigen Magneten, und geht über s, n und p zum negativen Pole der Batterie D. Nachdem er die Batterie durchflossen hat, tritt er bei dem positiven Pole derselben aus, fließt von einer Erdplatte zur andern und gelangt durch die Batterie auf Station B wieder an seinen Ursprungspunkt.

Da in Folge des geschlossenen Stromes die Electromagnete ihre Anker a a' anziehen, so heben sich die Brücken n n', so daß n' an q stößt, und zwischen n und p eine Lücke entsteht, welche den Strom unterbricht. Dadurch gewinnen die Federn f die Oberhand, ziehen die Anker a a' von den unmagnetisch gewordenen Polen m m' ab, und bringen n wieder in Berührung mit p, wodurch der Strom wieder geschlossen wird. So geht das Schließen und Unterbrechen des Stromes mit großer Schnelligkeit fort, und die Zeiger bewegen sich rasch im Kreise herum.

Um nun die Zeiger auf den zu telegraphirenden Zeichen anhalten zu können, befindet sich auf der Hinterseite des Rädchens r an der Axe desselben ein zweiter, dem ersten paralleler (auf der Zeichnung daher nicht sichtbarer) Zeiger, welcher denselben Weg durchläuft, wie jener. Neben jedem Buchstaben aber ist eine (in der Figur nicht abgebildete) Taste befindlich, durch deren Niederdrücken der hintere, folglich auch der vordere Zeiger angehalten wird. Läßt man diese Taste los, so beginnt sofort wieder das Spiel des Apparats, bis derselbe bei dem nächsten zu telegraphirenden Buchstaben abermals durch das Niederdrücken der betreffenden Taste angehalten wird.

Die Tasten sind so angebracht, daß sie die Bewegung in dem Augenblicke hemmen, da n mit p nicht verbunden, der Strom also unterbrochen ist; läßt man sie los, so wird der Strom durch den Zug der Feder f augenblicklich wieder hergestellt. Auch beim Stillstande der Zeiger auf dem leeren Felde, wenn nicht tele-

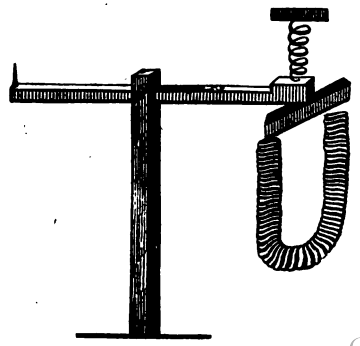
Digitized by Google

graphirt wird, ist der Strom unterbrochen, es wird daher in dieser Zeit keine Electricität entwickelt, und die Batterien haben längere Dauer, als im entgegengesetzten Falle.

§ 191. Der Drucktelegraph.

In Amerika bedient man sich fast ausschließlich der von Morse erfundenen Druck- oder Schreibtelegraphen, und auch in Deutschland werden die Zeiger-Apparate mehr und mehr durch dieselben verdrängt. An den preußischen Eisenbahnen bedient man sich der Zeigertelegraphen nur noch für den Bahnbetrieb; der die Hauptstädte verbindende Staats-Telegraph ist überall nach dem Morse'schen System construirt. Die Vorzüge desselben sind: größere Schnelligkeit in der Zeichengebung, kräftige Wirksamkeit auch auf die weitesten Entfernungen und Sicherheit vor Irrthümern hinsichtlich der die Depesche empfangenden Beamten, da der Telegraph dieselbe nicht bloß zeigt, sondern aufschreibt.

Wie dies möglich ist, zeigt die nachstehende Zeichnung. Durch das abwechselnde Schließen und Unterbrechen des von einer kräftigen Batterie erzeugten galvanischen Stromes wird in bekannter Weise, wie bei den Zeigertelegraphen, ein hufeisenförmiger Electromagnet bald magnetisch, bald unmagnetisch, zieht im ersteren Falle seine Armatur an, und läßt sie im letzteren Falle los, so daß eine entgegenwirkende Spiralfeder sie von seinen Polen ent-



Digitized by Google

fernt. Dadurch wird ein mit der Armatur verbundener zweiarmiger Hebel auf und nieder bewegt. Der von dem Electromagneten abgekehrte Arm desselben trägt an seinem Ende einen nach oben gerichteten Stahlstift. Wird nun der Strom geschlossen, so wird der mit dem Stifte versehene Hebelsarm gehoben, und der Stift macht in einen durch ein Uhrwerk über ihn hinweggezogenen Streifen Papier einen Eindruck, wie wenn man mit dem Ende einer Stricknadel auf Papier drückt, ohne es zu durchstechen. Stellt man den Strom nur für einen Augenblick her, so bildet dieser Eindruck einen Punkt, läßt man den Strom eine kleine Zeit dauern, so entsteht eine kurze Linie. Der Stift macht demnach nur zweierlei Zeichen, Punkte oder Linien, und aus diesen ist das Alphabet des Schreibtelegraphen gebildet. Dasselbe kann natürlich auf die verschiedenste Weise aufgestellt werden, und es sind in der That mannigfache Alphabete in Gebrauch. Bei den amerikanischen Telegraphen bezeichnet z. B. ein einfacher Punkt den am häufigsten vorkommenden Buchstaben E; ein Strich, zu dessen Herstellung der Strom so lange geschlossen erhalten wird, als zwei Punkte Zeit erfordern würden, gilt für T, ein doppelt so langer Strich zeigt L an u. s. w. Folgende Tabelle giebt eine Vorstellung von einem derartigen telegraphischen Alphabete:

A . —	M — —	Y . . — —
B — . . .	N — .	Z . . . — .
C — . — .	O — — —	etc . . . — —
D — . .	P . — — — .	1 . — — — —
E .	Q — — . —	2 . . — — —
F . . — .	R . — .	3 . . . — —
G — — .	S . . .	4 . . . . —
H	T —	5 . . . . .
I . .	U . . —	6 — . . . .
J . — — —	V . . . —	7 — — — . .
K — . —	W . — —	8 — — . . .
L . — . .	X — . . —	9 — — — .
		0 — — — — —

Digitized by Google

Das Ende eines Buchstabens wird durch eine kleine, das Ende eines Wortes durch eine größere Lücke angedeutet. — Mittelst eines solchen Alphabetes ist es leicht, geheime Nachrichten durch den Telegraphen zu versenden, deren Inhalt den telegraphirenden Beamten selbst unbekannt bleibt. Nehmen wir an, für den gewöhnlichen Gebrauch diene das vorstehende Alphabet, für die Geheimschrift aber sei den Zeichen eine andere nur den beiden correspondirenden Personen bekannte Bedeutung gegeben, so daß z. B. das oben für A gegebene Zeichen (. _) R anzeige u. s. w. Der Beamte, welcher die Depesche befördert, erhält sie nun entweder in Zeichenschrift oder so geschrieben, daß ihm für die Zeichen die Buchstaben seines Alphabets gegeben werden, — mithin weiß er nicht, was er telegraphirt. Der empfangende Beamte aber giebt die Depesche entweder in Zeichenschrift oder nach dem gewöhnlichen Alphabet übertragen ab, vermag demnach ebenfalls den Sinn nicht zu enträthseln. Ein Beispiel möge dies klar machen. Es bedeute das Zeichen

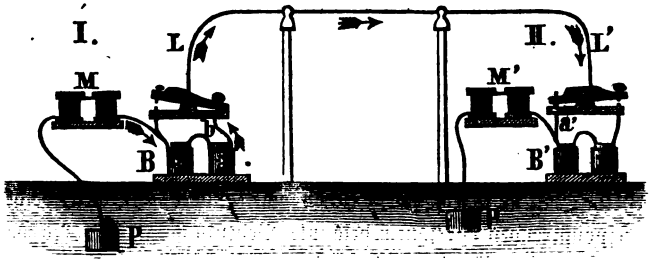
. . . . im gewöhnlichen Alphabet H, im Geheimbuche M
. . — — — I, — — E
. — — — E, — — I
. . . — — — R, — — N;

die aufgegebene Depesche beginnt demnach für die telegraphirenden Beamten mit dem Worte Hier, während sie für die im Besitz des Geheimbuches befindlichen Personen mit dem Worte Mein anfängt.

Der Zeigengeber des Morse'schen Telegraphen ist der Fig. auf S. 435 dargestellte Stromunterbrecher. Die Verbindung zweier Stationen zeigt die nachstehende Figur. Der Schlüssel auf Station I. ist niedergedrückt, der auf St. II. ist offen; der Strom circulirt in der Richtung b L L' a' M' P' P M B.

Der zur Aufnahme der Depesche bestimmte Papierstreif ist um eine Rolle aufgewunden, und geht dann zwischen zwei dicht an einander schließenden Walzen hindurch, von denen die untere durch ein Uhrwerk gleichmäßig umgedreht wird, während die obere außer Verbindung mit dem Uhrwerk steht, durch eine Feder

Digitized by Google

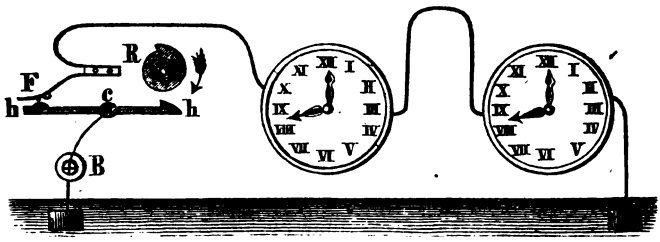


niedergedrückt wird, und sich in Folge der Reibung in entgegengesetzter Richtung dreht, wodurch der zwischen den beiden Walzen eingeklemmte Papierstreif fortgeschoben wird. Der die Depesche empfangende Beamte wird entweder durch wiederholtes Niederdrücken des Schlüssels, wodurch ein Klappern des Stiftes an die Rolle bewirkt wird, aufgefordert, das Uhrwerk in Gang zu setzen; oder ein mit dem Stifthalter verbundener Hebel löset beim Beginn des Telegraphirens die Hemmung des Räderwerkes aus, so daß es in Bewegung geräth. Im letzteren Falle druckt sich die telegraphische Nachricht (das Telegramm) ab, wenn auch kein Beamter auf der empfangenden Station anwesend ist. — Ein weiteres Eingehen auf die electromagnetische Telegraphie können wir uns nicht verstatten; nur das Eine sei noch bemerkt, daß man sogar Einrichtungen erfunden hat, in Folge deren gleichzeitig von Station I. nach St. II. und von St. II. nach St. I. telegraphirt werden kann (das sogenannte Gegensprechen).

§ 192. Electromagnetische Uhren.

Mittelst sehr einfacher Vorrichtungen kann man eine beliebige Menge von Uhren in genaueste Uebereinstimmung mit einer richtig gehenden Normaluhr bringen. Letztere ist eine gewöhnliche Pendeluhr, welche in jeder Minute einmal einen electrischen Strom schließt und bald wieder unterbricht. An der Axe ihres Secundenrades befindet sich ein elfenbeinernes Rädchen R, welches sich in jeder Minute einmal in der Richtung des Pfeils umdreht, und mittelst eines Vorsprunges (einer sogenannten Nase)

Digitized by Google



den rechten Arm eines um c beweglichen mit der Batterie B leitend verbundenen Hebels h h niederdrückt. Dadurch hebt sich der linke Arm, und berührt die Feder F, so daß der von der Batterie B erzeugte galvanische Strom geschlossen aber bald wieder geöffnet wird. Die in den Strom eingeschlossenen galvanischen Uhren, deren die Figur zwei zeigt, haben weder Pendel noch Gewichte, aber jede hat einen kleinen Electromagneten, welcher bei dem abwechselnden Schließen und Oeffnen der Kette seinen Anker anzieht und losläßt, wodurch (wie bei den Zeigertelegraphen) ein mit 60 Zähnen versehenes Rad jedesmal um einen Zahn fortgeschoben wird, so daß der daran befindliche Minutenzeiger um eine Minute fortrückt. Die Bewegung des Minutenrades wird in ähnlicher Weise wie bei den gewöhnlichen Uhren durch ein Räderwerk auf den Stundenzeiger übertragen.

§ 193. Durch den Electromagnetismus erzeugte Kreisbewegungen.

Errichtet man zwischen den Schenkeln eines Electromagneten einen senkrechten Messingstift, auf welchem eine Magnetnadel frei schwingt, so wird der Nordpol derselben von dem Südpol des Electromagneten angezogen. Wird nun mittelst eines Stromwechslers (§ 187) die Richtung des Stromes umgekehrt, so wird der Nordpol des Electromagneten zu einem Südpol und der Südpol zum Nordpol. In Folge dessen wird die Nadel von den jetzt ihren Polen gegenüber liegenden gleichnamigen Polen

Digitized by Google

abgestoßen, und beschreibt einen Halbkreis; bei abermaliger Umkehrung des Stromes erfolgt eine abermalige Abstoßung der Nadel und dieselbe geräth in fortdauernde Kreisbewegung (Rotation).

Man hat versucht, eine solche Rotation für mechanische Zwecke (Bewegung eines Bootes, einer kleinen Locomotive) zu benutzen. Zu diesem Behufe wendete man statt der Magnetnadel einen zweiten Hufeisenmagneten an, der sich um eine Axe bewegen konnte, durch die oben beschriebene Abstoßung in Rotation versetzt wurde und ein Räderwerk trieb. Man erreichte jedoch nur eine geringe Kraft, und die Unterhaltung der starken Batterien verursachte unverhältnißmäßige Kosten, so daß man den Plan, Maschinen durch den Electromagnetismus zu bewegen, wieder aufgab.

§ 194. Erzeugung galvanischer Ströme durch Induction.

Wenn man dem mit den Polen einer Batterie verbundenen Umwindungsdrathe eines Electromagneten einen zweiten übersponnenen gewundenen Drath nahe bringt, indem man letzteren auf eine Hülse wickelt, und diese über den Electromagneten schiebt, oder wenn man beide Dräthe zugleich um den Electromagneten windet, so entsteht bei jeder Schließung und Unterbrechung des Stromes auch in dem zweiten Drathe, dessen Enden frei sind, ein galvanischer Strom. Bindet man an die Enden dieses Drathes Metallcylinder, welche man mit den feuchten Händen faßt, so erhält man bei jeder Schließung, noch mehr aber bei der Oeffnung der Kette, eine kräftige Erschütterung.

Der durch die Batterie erzeugte Strom heißt der *inducirende*, der durch diesen in dem benachbarten Drathe hervorgerufene aber der *inducirte* Strom. Letzterer hat bei der Schließung der Kette eine der Richtung des Hauptstromes entgegengesetzte Richtung, bei der Oeffnung aber läuft er mit diesem in gleicher Richtung. Uebrigens hat er alle Eigenschaften des ursprünglichen Stromes.

Digitized by Google

§ 195. Die Magnetelectricität oder electrische Ströme, welche durch Magnete erzeugt werden.

Wir nannten magnetische Erscheinungen, welche durch Electricität hervorgerufen wurden, electromagnetisch. Umgekehrt vermag auch ein Magnet Electricität zu erzeugen, und wir werden dieselbe als Magnetelectricität bezeichnen.

Umwindet man die Schenkel eines aus weichem Eisen gebildeten Hufeisens mit einer hinreichenden Menge übersponnenen Kupferdrathes — ganz wie bei den Electromagneten der Telegraphen — und nähert demselben einen starken Stahlmagneten, so entsteht in den Drathwindungen ein electrischer Strom. Hierbei ist also gar keine Batterie thätig.

Hierauf gründet sich die magnetelectrische Maschine, bei welcher die Pole des mit Drathrollen versehenen Hufeisens in möglichst schneller Kreisbewegung vor den Polen des Stahlmagneten vorübergeführt werden. Durch eine sinnreiche Vorrichtung kann der menschliche Körper in den Strom eingeschaltet werden, welcher den Drath durchfließt, und erhält kräftige Erschütterungen, welche zu Heilzwecken dienen.

§ 196. Electrische Fische.

Einige Fische, besonders der Zitterrochen, der Zitteraal und der Zitterwels besitzen die Kraft, electrische Schläge auszutheilen, die oft so stark sind, daß der sie Berührende gelähmt wird. Diese Fische haben in ihrem Körper einen galvanischen Apparat, der mit einer Volta'schen Säule verglichen werden kann. Er besteht aus zahlreichen rundlichen oder eckigen Säulchen, welche aus vielen dünnen Blättchen, zwischen denen sich eine schleimige Flüssigkeit befindet, zusammengesetzt sind.

Ueber den Zitteraal, welcher in den sumpfigen Seen und Flüssen Südamerika's lebt und eine Länge von mehr als 5 Fuß erreicht, sagt Alexander von Humboldt: „Es wäre verwegen, sich den ersten Schlägen eines ungeschwächten, stark gereizten Zitteraales auszusetzen. Erhält man einen solchen ersten Schlag, so erfolgen furchtbare Betäubungen und Schmerzen. Ich

Digitized by Google

erinnere mich nicht, durch Entladung einer großen Leidner Flasche je eine so furchtbare Erschütterung erlitten zu haben, als die war, da ich unvorsichtiger Weise einst beide Füße über einen Zitteraal legte, der eben aus dem Wasser gezogen ward. Ich fühlte den ganzen Tag hindurch in den Knieen und fast in allen Gelenken den empfindlichsten Schmerz. Es entsteht ein innerer Schauer, und es ist, als gingen besondere Nervenschwingungen vor, die zwei bis drei Secunden dauern, und in eine Lähmung übergehen. Man gebrauchte sonst die Zitteraale zur Heilung von Lähmungen, und die amerikanischen Wilden benutzen sie gegen Gicht und Kopfschmerz." Müssen Pferde und Maulthiere durch Gewässer, welche von Zitteraalen bewohnt sind, so unterliegen sie nicht selten den Schlägen derselben. Sie sträuben schnaubend die Mähnen, ihre Augen funkeln in wilder Angst und sie suchen dem gefährlichen Feinde zu entfliehen. Ans Land gekommen, straucheln sie bei jedem Schritte, dehnen und strecken sich, matt und erschöpft, an allen Gliedern, auf dem Boden aus und erholen sich nur allmählig. — Es ist sogar gelungen, aus dem Zitteraal einen electrischen Funken zu ziehen. Hat der Fisch mehrere Schläge ertheilt, so bedarf er längerer Ruhe, um neue Kraft zu sammeln.

§ 197. Fragen und Aufgaben zur Wiederholung.

1. Welches sind die electrischen Haupterscheinungen?
2. Welches ist der Unterschied zwischen Leitern und Nichtleitern der Electricität?
3. Wie isolirt man einen Leiter?
4. Welches sind die besten Leiter, welches die besten Nichtleiter?
5. Wie heißen die beiden entgegengesetzten Electricitäten?
6. Wie verhalten sie sich gegen einander?
7. Wie prüft man die Art der Electricität?
8. Beschreibe das Goldblatt-Electrometer!
9. Was versteht man unter der Vertheilung der Electricität?
10. Wenn entsteht der electrische Funke?
11. Wie verfertigt man einen Electrophor?
12. Beschreibe die wichtigsten Experimente, welche mittelst desselben anzustellen sind!

Digitized by Google

13. Wie fertigt man die Leidner Flasche an?
14. Wie verbindet man mehrere Flaschen zu einer Batterie?
15. Welche Wirkungen kann man mittelst einer electrischen Batterie hervorbringen?
16. Welche Geschwindigkeit hat die Electricität?
17. Beschreibe eine Electrisirmaschine!
18. Welche Erscheinungen der Anziehung und Abstoßung kann man mittelst derselben zeigen?
19. Welche leuchtenden und welche zündenden Erscheinungen bringt sie hervor?
20. Welches sind die electrischen Naturerscheinungen?
21. Was ist der Blitz, was der Donner?
22. Warum fährt der Blitz im Zickzack herab?
23. Was nützen die Blitzableiter?
24. Was sind Donnerkeile oder Blitzröhren?
25. Wie kann man aus der zwischen Blitz und Donner vergehenden Zeit auf die Entfernung des Gewitters schließen?
26. Was ist das Wetterleuchten?
27. Was ist das St. Elmsfeuer?
28. Beschreibe das Nordlicht!
29. Wie unterscheiden sich Reibungs- und Berührungs-Electricität hinsichtlich ihrer Hervorrufung und in ihrem Wesen?
30. Warum heißt die Berührungs-Electricität auch Galvanismus?
31. Wie ist die Volta'sche Säule eingerichtet?
32. Welches sind die Uebelstände bei ihrer Anwendung?
33. Was sind beständige oder constante Ketten?
34. Welches sind die drei gebräuchlichsten Formen derselben?
35. Beschreibe ein Daniell'sches, ein Bunsen'sches, ein Grove'sches Element!
36. Wie verbindet man mehrere Elemente zu einer galvanischen Batterie?
37. Welches ist stets der negative Pol einer constanten Batterie?
38. Beschreibe die Einwirkung des galvanischen Stromes auf den menschlichen Körper!
39. Desgleichen die galvanischen Licht- und Wärme-Erscheinungen!
40. Wie zersetzt man Wasser mittelst des galvanischen Stromes?
41. Was versteht man unter Galvanoplastik?
42. Welchen Einfluß hat der galvanische Strom auf die Magnetnadel?
43. Was ist ein Multiplicator oder Galvanometer?
44. Was ist eine astatische Doppelnadel?
45. Welchen Einfluß hat der galvanische Strom auf Stahl?
46. Welchen Einfluß übt er auf weiches Eisen aus?

Digitized by Google

47. Wie wird ein Electromagnet angefertiget?
48. Beschreibe im Allgemeinen, wie man mittelst des galvanischen Stromes telegraphische Zeichen geben kann!
49. Was sind diamagnetische Körper?
50. Was sind Stromunterbrecher oder Disjunctoren?
51. Beschreibe einige dergleichen!
52. Was sind Stromwechsler oder Commutatoren?
53. Beschreibe einige solche!
54. Beschreibe den optischen Telegraphen!
55. Was bedeutet das Wort Telegraph?
56. Beschreibe den Nadel-Telegraphen!
57. Wie erspart man bei allen electrischen Telegraphen die Hälfte des Leitungsdrathes?
58. Beschreibe den gewöhnlichen Zeigertelegraphen!
59. Beschreibe den Zeigertelegraphen von Siemens und Halske!
60. Wie sind die Weckapparate und Läutewerke eingerichtet?
61. Beschreibe den Drucktelegraphen!
62. Beschreibe electrische Uhren!
63. Wie erzeugt man Kreisbewegung durch Electromagnetismus?
64. Wie entstehen inducirte Ströme?
65. Was ist Magnet-Electricität?
66. Erzähle von electrischen Fischen!

Digitized by Google

Alphabetisches Register.

A.

Seite

Abenddämmerung 221.
Abendröthe 287.
Accomodationsfähigkeit des Auges 263.
Achromatische Gläser 283.
Adhäsion 131.
Aeolsharfe 197.
Aether 240. 368.
Aggregatsform 6.
Amalgamiren der Metalle 132.
Amalgamiren der Spiegel 222.
Amalgamiren der Zink-Cylinder 421.
Anatomischer Heber 121.
Anhangskraft 131.
Anker der Uhr 93.
Anker des Magneten 385.
Anziehungskraft des Magneten 375.
Aräometer 130.
Archimedische Schraube 356.
Armirung des Magneten 385.
Artesische Brunnen 121.
Astatische Doppelnadel 432.
Astronomisches Fernrohr 269.
Astronomische Strahlenbrechung 240.
Atmosphärische Eisenbahn 166.
Atmosphärischer Telegraph 167.
Atome 368.
Aufwerfhammer. 87.
Auge 253.
Ausladen 403.

B.

Balancirkünste 12.
Barometer 151.
Batterie, constante 419.
Batterie, electrische 403.
Batterie, galvanische 418. 423.
Beharrungsvermögen 16.
Berührungs-Electricität 415.
Beugung des Lichtes 291.
Bewegung 15.
Bierwage 131.
Billardspiel 40.
Blasebalg 143.
Blaseinstrumente 199.
Blaserohr 138.
Bläue des Himmels 286.
Bleibende Farben 288.
Blinder Punkt des Auges 257.
Blitz 411.
Blitzableiter 413.
Blutregen 336.
Bodendruck des Wassers 110.
Bononischer Stein 207.
Bramah's Presse 122.
Brandung 108.
Branntweinwage 131.
Bratspille 64.
Brechung des Lichtes 237.
Brechung des Lichtes durch erhabene Linsen 249.
Brechung des Lichtes durch Hohlgläser 252.
Brechung des Lichtes durchs Prisma 247.
Bremswerke 25.
Brennpunkt 228.
Brennspiegel 229.
Brillen 264.
Brückenwage 52.
Buchdruckerpresse 72.
Bunsen's Kette 423.

C.

Calmen 318.
Calorische Maschinen 357.
Camera lucida 274.
Camera obscura 272.
Capillar-Attraction 132.
Cartesianischer Taucher 127.
Centralkräfte 32.
Centrifugalkraft 33.
Centrifugal-Regulator 90. 349.
Centrifugal-Rutschbahn 34.
Centripetalkraft 33.
Charlière 169.

Chemische Wirkungen des Lichtes 292.
Chladni'sche Klangfiguren 197.
Chromatropen 276.
Cohäsion 6.
Communicationsrohr 187.
Communicirende Röhren 113.
Commutatoren 439.
Compensationspendel 94.
Compressionspumpe 157.
Constante galvanische Ketten 419.
Convexspiegel 236.
Cylinder der Lampen 313.

D.

Dämmerung 221.
Daguerreotypie 273.
Dampfbildung 320.
Dampfmaschinen 340.
Dampfschiffe 356.
Dampfwagen 350.
Daniell'sche Kette 420.
Daumenwelle 85.
Dekatiren des Tuches 340.
Deklination des Magneten 380.
Diamagnetismus 434.
Dioptrik 237.
Disjunctoren 435.
Donner 413.
Doppelnadel, astatische 432.
Doppeltsehen 256.
Druck des Wassers 108.
Druckpumpe 150.
Drucktelegraph 457.
Drummond'sches Licht 207.
Dunkle Kammer 272.

E.

Ebene, schiefe 66.
Ebene Spiegel 223.
Echo 184.
Einfache Maschinen 73.
Eis 307.
Electricität 389.
Electrische Batterie 403.
Electrische Fische 463.
Electrische Haupterscheinungen 391.
Electrisirmaschine 405.
Electromagnet 433.
Electromagnet. Kreisbewegungen 461.
Electromagnetische Uhren 460.
Electrometer 395.
Electromotore 417.
Electrophor 399.
Elevationswinkel 32.
Elliptische Gewölbe 188.
Erdfernrohr 269.
Erdmagnetismus 387.
Ergänzungsfarben 289.
Erhabene Spiegel 236.
Ericsson's calorische Maschine 357.
Erleuchtungsspiegel 230.
Erreger der Electricität 417.
Erregung des Magnetismus in Eisen und Stahl 383.
Erregungsmittel der Wärme 296.
Excentrische Scheibe 87. 353.

F.

Fallgesetze 26.
Fallrichtung 7.
Fallschirm 169.
Falsche Würfel 14.
Farbenbilder 276.
Farbenlehre 278.
Farbenränder 281.
Farbenzerstreuung durch das Prisma 279.
Fata morgana 244.
Federhaus 95.
Fernröhre 268.
Feste Körper 4.
Feuerkugeln 336.
Feuerspritze 159.
Fische, electrische 462
Flageolettöne 195.
Flaschenzug 58.
Fliegen 167.
Flöte 200.
Föhn 317.
Fokus 228.
Froschregen 336.
Fuhrmannswinde 8

G.

Galileisches Fernrohr 265.
Galvanische Heilwirkungen 426.
Galvanische Ketten 417.
Galvanischer Magnetismus 431.
Galvanische Sonne 427.
Galvanismus 416.
Gangspille 63.
Gaukelmann 82.
Gebundene Wärme 304.
Gefrieren des Wassers 307
Gehörwerkzeuge 178.
Geisterercheinungen 222.
Gekrümmte Gläser 249.
Gekrümmte Spiegel 227
Gelenkkette 95.
Geometrische Bilder 239.
Geschwindigkeit der Electricität 405.
Geschwindigkeit des Lichtes 216.
Geschwindigkeit des Schalles 182.
Gesichtswinkel 258.
Getreideregen 336.
Getriebe 77.
Gewicht 10.
Gewitter 410.
Gezahnte Räder 76.
Gezahnte Stangen 81.
Glaselectricität 394
Glasharmonika 199
Göpel 63.
Geradlinige Bahn des Lichtes 209.

Digitized by Google

upen 333.
vitation 34.
ße der Bewegung 19.
ve's Kette 424.
ndeis 307.
undfarben 288.
undwage 9.
undwasser 114.
ckasten 272.
rotropen 439.

H.

arrröhrchen 132.
gel 338.
bschatten 212.
ndspritze 138.
rzelectricität 394.
rzkuchen 399.
spel 64.
uptse den 288.
bel 42.
ber 145.
beschraube 71.
emmschuh 25.
eronsball 139.
himmelsbläue 286.
Hochdruckmaschinen 349.
Höfe 287.
Höhenmessung 156.
Hörrohr 188.
Hohlspiegel 227.
Holländisches Fernrohr 268.
Hollunderbüchse 138.
Hungerbrunnen 149.
Hydraulische Presse 122.
Hydro-Oxygen-Gas-Mikroscop 267.
Hygrometer 133. 329.
Hygroscopische Körper 330.

J.

Inclination des Magneten 380.
Inductions-Electricität 462.
Interferenz der Wellen 108.
Interferenz des Lichtes 291.
Isolatoren 393.
Isolirstuhl 408.

K.

Kaleidoscop 226.
Kalklicht 207.
Kammräder 76.
Katoptrik 218.
Katoptrische Fernröhre 268.
Kastor und Pollux 414.
Keil 68.
Keilpresse 69.
Kepler'sches Fernrohr 269.
Kernschatten 211.
Ketten, beständige 419.
Klang 176.
Klangfiguren 197.
Kleist'sche Flasche 402.
Klystirspritze 138.
Körper 3.
Kompaß 380.
Konische Räder 79.
Kosmorama 272.
Krämerwage 40.
Krahn 61.
Kreisbewegungen, electromagnetische 461.
Kreisel 14.
Kronenräder 77.
Künstliche Magnete 385.
Kurbel 82.
Kurzsichtigkeit 264.

L.

Labialpfeifen 201.
Läutewerke der Telegraphen 454.
Lamellen 386.
Lampencylinder 313.
Landhosen 317.
Landwind 317.
Latente Wärme 304.
Laterna magica 274.
Laufrad 62.
Laut 175.
Leidenfrost'scher Versuch 324.
Leidner Flasche 402.
Leistung der Brennstoffe 300.
Leiter der Electricität 391.
Leitstange 82.
Libelle 117.
Licht 206.
Lichtbilder 273.
Lichtmagnete 207.
Lichtsauger 207.
Lichtträger 207.
Lichtstärke 214.
Linsen 249.
Lippenpfeifen 200.
Locomobile 355.
Locomotive 350.
Lohmühle 85.
Loth 7.
Loupe 265.
Luftballon 168.
Luftfeuchtigkeitsmesser 329.
Luftfeuerzeug 141. 299.
Luftförmige Körper 6.
Luftheizung 314.
Luftpumpe 162.
Luftschweremesser 154.
Luftspiegelung 244.
Luftwärmemesser 309.

M.

Magnet, natürlicher und künstlicher 385.
Magnetismus 375.
Magnet-Electricität 463.
Magnetische Wirkungdes Galvanismus 431.
Mariottesches Gesetz 139.
Maschinen 65.
Meteorsteine 336.
Metronom 37.
Mikrometerschrauben 73.
Mikroscop 265.
Molekule 368.
Mollet's Pumpe 141. 299.
Mondfinsternisse 212.
Monsum 320.

Digitized by Google

Chemische Wirkungen des Lichtes 292.
Chladni'sche Klangfiguren 197.
Chromatropen 276.
Cohäsion 6.
Communicationsrohr 187.
Communicirende Röhren 113.
Commutatoren 439.
Compensationspendel 94.
Compressionspumpe 157.
Constante galvanische Ketten 419.
Converspiegel 236.
Cylinder der Lampen 313.

D.

Dämmerung 221.
Daguerreotypie 273.
Dampfbildung 320.
Dampfmaschinen 340.
Dampfschiffe 356.
Dampfwagen 350.
Daniell'sche Kette 420.
Daumenwelle 85.
Dekatiren des Tuches 340.
Deklination des Magneten 380.
Diamagnetismus 434.
Dioptrik 237.
Disjunctoren 435.
Donner 413.
Doppelnadel, astatische 432.
Doppeltsehen 256.
Druck des Wassers 108.
Druckpumpe 150.
Drucktelegraph 457.
Drummond'sches Licht 207.
Dunkle Kammer 272.

E.

Ebene, schiefe 66.
Ebene Spiegel 223.
Echo 184.
Einfache Maschinen 73.
Eis 307.
Electricität 389.
Electrische Batterie 403.
Electrische Fische 463.
Electrische Haupterscheinungen 391.
Electrisirmaschine 405.
Electromagnet 433.
Electromagnet. Kreisbewegungen 461.
Electromagnetische Uhren 460.
Electrometer 395.
Electromotore 417.
Electrophor 399.
Elevationswinkel 32.
Elliptische Gewölbe 188.
Erdfernrohr 269.
Erdmagnetismus 387.
Ergänzungsfarben 289.
Erhabene Spiegel 236.
Ericsson's calorische Maschine 357.
Erleuchtungsspiegel 230.
Erreger der Electricität 417.
Erregung des Magnetismus in Eisen und Stahl 383.
Erregungsmittel der Wärme 296.
Excentrische Scheibe 87. 353.

F.

Fallgesetze 26.
Fallrichtung 7.
Fallschirm 169.
Falsche Würfel 14.
Farbenbilder 276.
Farbenlehre 278.
Farbenränder 281.
Farbenzerstreuung durch das Prisma 279.
Fata morgana 244.
Federhaus 95.
Fernröhre 268.
Feste Körper 4.
Feuerkugeln 336.
Feuerspritze 159.
Fische, electrische 462.
Flageolettöne 195.
Flaschenzug 58.
Fliegen 167.
Flöte 200.
Föhn 317.
Fokus 228.
Froschregen 336.
Fuhrmannswinde 8.

G.

Galileisches Fernrohr 268.
Galvanische Heilwirkungen 426.
Galvanische Ketten 417.
Galvanischer Magnetismus 431.
Galvanische Sonne 427.
Galvanismus 416.
Gangspille 63.
Gaukelmann 82.
Gebundene Wärme 304.
Gefrieren des Wassers 307.
Gehörwerkzeuge 178.
Geistererscheinungen 252.
Gekrümmte Gläser 249.
Gekrümmte Spiegel 227
Gelenkkette 95.
Geometrische Bilder 239.
Geschwindigkeit der Electricität 405.
Geschwindigkeit des Lichtes 216.
Geschwindigkeit des Schalles 182.
Gesichtswinkel 258.
Getreideregen 336.
Getriebe 77.
Gewicht 10.
Gewitter 410.
Gezahnte Räder 76.
Gezahnte Stangen 81
Glaselectricität 394
Glasharmonika 199
Göpel 63.
Gerablinige Bahn des Lichtes 209.

Digitized by Google

Graupen 333.
Gravitation 34.
Größe der Bewegung 19.
Grove's Kette 424.
Grundeis 307.
Grundfarben 288.
Grundwage 9.
Grundwasser 114.
Guckkasten 272.
Gyrotropen 439.

H.

Haarröhrchen 132.
Hagel 338.
Halbschatten 212.
Handspritze 138.
Harzelectricität 394.
Harzkuchen 399.
Haspel 64.
Hauptsätze 288.
Hebel 42.
Heber 145.
Hebeschraube 71.
Hemmschuh 25.
Heronsball 139.
Himmelsbläue 286.
Hochdruckmaschinen 349.
Höfe 287.
Höhenmessung 156.
Hörrohr 188.
Hohlspiegel 227.
Holländisches Fernrohr 268.
Hollunderbüchse 138.
Hungerbrunnen 149.
Hydraulische Presse 122.
Hydro-Oxygen-Gas-Mikroscop 267.
Hygrometer 133. 329.
Hygroscopische Körper 330.

I.

Inclination des Magneten 380.
Inductions-Electricität 462.
Interferenz der Wellen 108.
Interferenz des Lichtes 291.
Isolatoren 393.
Isolirstuhl 408.

K.

Kaleidoscop 226.
Kalklicht 207.
Kammräder 76.
Katoptrik 218.
Katoptrische Fernröhre 268.
Kastor und Pollux 414.
Keil 68.
Keilpresse 69.
Kepler'sches Fernrohr 269.
Kernschatten 211.
Ketten, beständige 419.
Klang 176.
Klangfiguren 197.
Kleist'sche Flasche 402.
Klystirspritze 138.
Körper 3.
Kompaß 380.
Konische Räder 79.
Kosmorama 272.
Krämerwage 40.
Krahn 61.
Kreisbewegungen, electromagnetische 461.
Kreisel 14.
Kronenräder 77.
Künstliche Magnete 385.
Kurbel 82.
Kurzsichtigkeit 264.

L.

Labialpfeifen 201.
Läutewerke der Telegraphen 454.
Lamellen 386.
Lampencylinder 313.
Landhosen 317.
Landwind 317.
Latente Wärme 304.
Laterna magica 274.
Laufrad 62.
Laut 175.
Leidenfrost'scher Versuch 324.
Leidner Flasche 402.
Leistung der Brennstoffe 300.
Leiter der Electricität 391.
Leitstange 82.
Libelle 117.
Licht 206.
Lichtbilder 273.
Lichtmagnete 207.
Lichtsauger 207.
Lichtträger 207.
Lichtstärke 214.
Linsen 249.
Lippenpfeifen 200.
Locomobile 355.
Locomotive 350.
Lohmühle 85.
Loth 7.
Loupe 265.
Luftballon 168.
Luftfeuchtigkeitsmesser 329.
Luftfeuerzeug 141. 299.
Luftförmige Körper 6.
Luftheizung 314.
Luftpumpe 162.
Luftschweremesser 154.
Luftspiegelung 244.
Luftwärmemesser 309.

M.

Magnet, natürlicher und künstlicher 385.
Magnetismus 375.
Magnet-Electricität 463.
Magnetische Wirkungen des Galvanismus 431.
Mariotte'sches Gesetz 139.
Maschinen 65.
Meteorsteine 336.
Metronom 37.
Mikrometerschrauben 73.
Mikroscop 265.
Moleküle 368.
Mollet's Pumpe 141. 299.
Mondfinsternisse 212.
Monsum 320.

Digitized by Google

Montgolfière 169.
Morgendämmerung 221.
Morgenroth 287.
Morse's Kette 424.
Morse's Telegraph 457.
Mousson 320.
Münzpresse 89.
Multiplicator 432.

N.

Nadel-Telegraph 443.
Naßkältemesser 328.
Natürlicher Magnet 385.
Natur der Wärme 367.
Natur des Lichts 290.
Naturtöne 192.
Nebel 333.
Nebelbilder 275.
Nebenmonde 287.
Nebensonnen 287.
Negative Electric. 393.
Nichtleiter der Electricität 393.
Niederdruck-Maschinen 349.
Nivellirwage 116.
Nordlicht 415.

O.

Objective Bilder 232.
Ohr, menschliches 178.
Ohr des Dionysius 189.
Operngucker 227.
Optik 209.
Optische Instrumente 264.
Optische Täuschungen 260.
Ozon 391.

P.

Papinischer Topf 322.
Parabolische Spiegel 230.
Parallaxe 261.
Parallelogramm der Kräfte 23.
Parallel-Spiegel 225.
Passatwinde 318.
Pendelschwingungen 35.
Perpendikel 93.
Perspectivisches Zeichnen 260.
Pferdekraft 355.
Photographie 273.
Photometer 216.
Physische Spiegelbilder 232.
Planspiegel 223.
Plattiren 132.
Pneumatisches Feuerzeug 141. 299.
Polarisation des Lichtes 292.
Polarität des Magneten 377.
Polemoscop 227.
Positive Electricität 393.
Prisma 247.
Psychrometer 328.
Pulshammer 323.
Purzelmännchen 14.
Pyrometer 312.

R.

Rad an der Welle 61.
Raddampfer 356.
Reactionsrad 119.
Real's Extractpresse 112.
Reflectoren 271.
Reflexion des Lichtes 218.
Reflexion des Schalles 184.
Refraction des Lichtes 237.
Refractoren 268.
Regen 335.
Regenbogen 283.
Regulatoren 88. 89. 92. 94.
Reibung 23. 298.
Reibungs-Electricität 389.
Reif 332.
Rohrwerke d. Orgel 202.
Rolle 55.
Rose'sches Metall 303.
Rostpendel 94.
Ruhe 15.
Rumfords Photometer 216.
Russische Röhren 314.

S.

Seiteninstrumente 188.
Sammelgläser 253.
Samum 316.
Saugheber 146.
Saugpumpe 149.
Schall 175.
Schallrohr 187.
Schallstärke 180.
Schatten 210.
Schiebelampe 160.
Schieberventil 343.
Schiefe Ebene 66.
Schnecke der Uhr 95.
Schnee 337.
Schnellloth 303.
Schnellwage 46.
Schnur ohne Ende 74.
Schönbucker 226.
Schornstein 313.
Schraube 70.
Schraubendampfer 357.
Schraubenpresse 72.
Schraube ohne Ende 81.
Schraubstock 72.
Schröpfen 142.
Schwanzhammer 86.
Schwefelregen 336.
Schweißen des Eisens 302.
Schwerkraft 6.
Schwerpunkt 11.
Schwimmen 124.
Schwingungen der Luft 176. 194.
Schwingungsknoten 196.
Schwungkugeln 89.
Schwungrad 88.
Seewind 317.
Segner's Wasserrad 115.
Sehen 253.
Seitendruck des Wassers 111.
Sekundenpendel 37.
Selbstentzündung 300.
Senkwage 150.
Setzwage 9.

Digitized by Google

Sicherheitsventil 348.
Siderallicht 207.
Sieden des Wassers 320.
Siemens und Halske's Telegraph 454.
Sirocko 317.
Smum 316.
Solarlicht 427.
Sonnenfinsterniß 212.
Sonnenmikroscop 267.
Sonnenspectrum 278.
Spannungsreihe, electrische 417.
Specifische Wärme 365.
Specifisches Gewicht 128.
Spiegellehre 218.
Spiegelung 244.
Spiegeltelescop 268. 271.
Spiralfeder der Uhr 97.
Sprachgewölbe 188.
Sprachrohr 187.
Springbrunnen 120.
Spritzglas 139.
Staar 255.
Standmesser 115.
Stangenklinste 83.
Starre Körper 4.
St. Elmsfeuer 414.
Stechheber 145.
Stehaufmännchen 14.
Steigrad 93.
Steinregen 336.
Stereoscop 276.
Sternrohr 269.
Sternschnuppe 336.
Steuerung 342. 353.
Stimmung der Orgel 194.
Stimmwerkzeuge 202.
Stirnräder 78.
Stoß 38.
Strahlende Wärme 363.
Stroboscopische Scheiben 262.
Strömungen der Luft 313.
Strömungen der Wärme 362.
Strom, galvanischer 418. 444.
Stromunterbrecher 435.
Stromwechsler 439.
Stromwender 439.

T.

Tabakrauchen 142.
Tactmesser 37.
Tageshelle 286.
Tangentialkraft 33.
Taschenperspectiv 269.
Taucherglocke 144.
Tauchfeuerzeug 300.
Telegraphie 441.
Telescope 268.
Temperatur (Stimmung) 194.
Temperatur (Wärme) 296.
Temperatur der Mischungen 365.
Thau 332.
Thaumatropen 262.
Thaupunkt 329.
Theaterperspectiv 269.
Thermometer 309.
Tönende Saiten 189.
Ton 176.
Toricelli'sche Leere 153.
Toricelli'scher Versuch 153.
Tornado 315.
Trägheit 16.
Tretrad 62.
Trilling 77.
Tromben 317.
Trommel der Uhr 95.
Tropfbare Körper 5.
Turbinen 119.

U.

Uhren 92.
Uhren, electromagnetische 460.
Uhrfeder 95.
Unruhe 97.

V.

Vacuumpfannen 324.
Ventilinstrumente 201.
Verbindungsrohr 187.
Verbreitung der Wärme 358.
Verdichtungspumpe 157.
Verdunstung 325.
Verdunstungskälte 326.
Vergrößerungsgläser 250.
Verstärkte Electricität 401.
Verstärkungsflasche 402.
Vertheilung der Electricität 395.
Verzirbecher 148.
Volta'sche Säule 417.

W.

Wärme 296.
Wärmecapacität 395.
Wärmeleitung 358.
Wärmemesser 309.
Wärmestrahlung 363.
Wage 40.
Wandelbilder 275.
Wasserdunst 328.
Wassergallen 284.
Wasserhosen 317.
Wasserleitungen 114.
Wassermeteore 328.
Wassermühlen 76.
Wasserpresse 122.
Wasserpumpe 149.
Wasserschraube 357.
Wasserwage 116.
Wasserzersetzung 428.
Watt's Parallelogramm 346.
Weckapparat, electromagnetischer 453.
Weitsichtigkeit 264.
Wellen des Wassers 107.
Wetterglas 156.
Wetterhäuschen 331.
Wetterleuchten 414.
Wetterlicht 414.
Wiederhall 184.
Wind 314.
Windhosen 317.
Winkelhebel 45.
Winkelspiegel 226.

Digitized by Google

Wolf's anatomischer Heber 121.
Wolken 333.
Wunderscheiben 262.
Wurfweite 32.

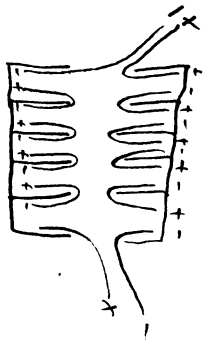
Z.

Zauberbecher 148.
Zauberlaterne 274.
Zauberperspectiv 226.
Zauberspiegel 232.
Zaubertrichter 146.
Zeichenbringer 446.
Zeichengeber 450.
Zeigertelegraph 445.
Zerstreuungsgläser 253.
Zerstreuungspunkt 253.
Ziehbrunnen 65.
Ziehharmonika 202.
Ziehwage 55.
Zink-Kohlen-Kette 42
Zink-Kupfer-Kette 42
Zink-Platin-Kette 42
Zitteraal 463.
Zurückwerfung des Lic
tes 218.
Zurückwerfung des
Schalles 184.
Zusammenhang 3.

Druck von Julius Belz in Langensalza.

Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

SEP 13 1934

Digitized by Google